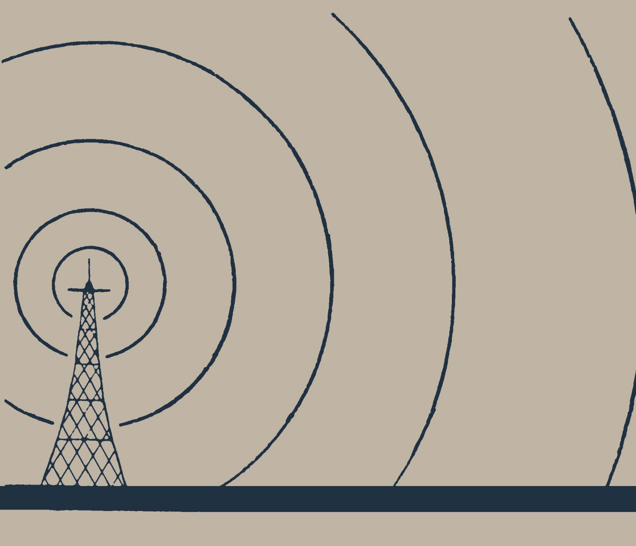


Р. М. МАЛИНИН

САМОДЕЛЬНЫЕ ОММЕТРЫ И АВОМЕТРЫ





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

Обозначения на шкалах электроизмерительных приборов

V	Вольтметр		Прибор электромагнитной системы с механической противодействующей силой
A	Амперметр		Электродинамический прибор с механической противодействующей силой.
mA	Миллиамперметр		Прибор детекторной системы (например с купроксным выпрямителем).
Ω	Омметр		Прибор термоэлектрической системы с контактным термопреобразователем (термопарой).
—	Прибор для измерения в цепях постоянного тока	Y	Прибор тепловой системы (для измерения токов высокой частоты).
~	Прибор для измерения в цепях переменного тока	↑	Прибор предназначен для работы при вертикальном положении шкалы.
	Прибор для измерения в цепях переменного и постоянного токов	→	Прибор предназначен для работы при горизонтальном положении шкалы.
	Прибор магнитоэлектрической системы с механической противодействующей силой	2,5	Класс прибора[1]
	Прибор магнитоэлектрической системы без механической противодействующей силы	2кV	Изоляция прибора испытана напряжением 2 кв.

[1] Отклонение показания прибора от действительного значения измеряемой величины, равное разности между показанием и действительным значением, определяет класс прибора.

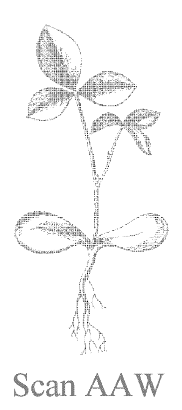
Каждый класс прибора характеризуется наибольшей допустимой приведенной погрешностью, величина которой равна номеру класса.

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА
ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 22

Р. МАЛИНИН

САМОДЕЛЬНЫЕ ОММЕТРЫ И АВОМЕТРЫ





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1949 ЛЕНИНГРАД

В брошюре дается описание омметров и авометров, излагаются принципы их работы, их назначение, приводятся разнообразные схемы этих приборов со сравнительной оценкой их. Приводится перечень и описание деталей, излагаются методы сборки омметров и авометров, методы градуировки собранных приборов и даются указания, как нужно с ними работать для получения правильных результатов.

Редактор *В. А. Бурлянд* Технический редактор *А. М Фридкин*

Сдано в пр-во 29/VI 1948 г. Подписано к печати 18/III 1949 г. Объем 3 п. л.
3 уч.-авт. л. Тираж 35 000. Формат бумаги $84 \times 108^1/_{32}$. Цена 1 р. 50 коп.
А-03045 40 000 тип. знак. в 1 печ. л Зак. № 1181

Типография Госэнергоиздата МЭС. Москва, Шлюзовая наб., 10.

1. ОММЕТРЫ

Омметр — прибор для измерения сопротивлений — является, пожалуй, наиболее необходимым прибором в радиолюбительской практике. Омметр может быть изготовлен из миллиамперметра или вольтметра магнитоэлектрического типа (вольтметр при этом должен быть превращен в миллиамперметр простым удалением из него добавочных сопротивлений). Такие приборы легче достать и стоят они дешевле омметров. Кроме миллиамперметра для изготовления омметра нужно иметь батарею (обычно применяется сухая батарея), переменное и постоянное сопротивление.

Выбор прибора для изготовления омметра. Миллиамперметр для изготовления омметра должен выбираться из соображений необходимого предела измерения сопротивлений. Изготовить простой омметр, дающий возможность измерять с одинаковой точностью и самые большие и самые малые сопротивления, затруднительно. Если, например, по шкале омметра можно будет с удовлетворительной точностью отсчитывать сопротивления до нескольких мегомов, с помощью его уже нельзя измерять сопротивления даже в несколько сотен омов. Наоборот, омметром, дающим возможность хорошо измерять сравнительно небольшие сопротивления, не удастся мерить сопротивления уже величиной в сотни тысяч омов, если не усложнить схемы омметра (применение нескольких источников питания и т. п.).

Для изготовления омметра, предназначенного для измерения больших сопротивлений, необходим чувствительный гальванометр. Так, например, имея гальванометр, дающий полное отклонение стрелки при силе тока 50—100 *мка*, можно сделать омметр с пределом измерения до 20—10 *мгом*, если применить в омметре батарею типа БАС-80 или БАС-60; при одной-двух карманных батарейках можно измерять сопротивления не более 1—2 *мгом*. Наименьшие сопротивления, которые можно достаточно точно измерять такими ом-

метрами, будут соответственно несколько десятков тысяч ом при использовании батареи типа БАС и не меньше нескольких тысяч ом при работе с батарейками карманного фонаря. Предпочтительнее применение гальванометров со шкалами большого размера, так как по ним можно производить более точные отсчеты.

Чувствительные гальванометры не всегда удастся достать радиолюбителю. Более доступными являются миллиамперметры (или вольтметры), дающие полное отклонение стрелки при относительно больших значениях проходящих через них токов, и с такими приборами можно изготовить при реально применимых в радиолюбительской практике напряжениях омметры для измерений сопротивления соответственно меньших. Так, например, с миллиамперметром с предельным током 0—1 *ма* и батареей типа БАС можно построить омметр с верхним пределом измерения порядка нескольких мегом, причем измерение таких больших сопротивлений не будет отличаться большой точностью, а нижний предел измерения его будет порядка нескольких тысяч ом. Наиболее удовлетворительная точность измерений таким омметром будет для сопротивлений порядка десятков и сотен тысяч ом. Применяя же в омметре с таким же прибором батарейку карманного фонаря, мы получим пределы измерения от сотен ом до 100 000 ÷ 200 000 *ом*, а удовлетворительную точность измерения примерно в пределах от 500 *ом* до 30 000÷40 000 *ом*. При применении миллиамперметра с током для полного отклонения стрелки 5 *ма* крайние пределы измерения уменьшатся примерно в 5 раз.

Из числа миллиамперметров, выпускаемых отечественной промышленностью, наиболее доступны для применения радиолюбителями стандартные миллиамперметры типы М-1, М-2, МК-55, ПМ-70 со шкалами 0 ÷ 1 *ма*, 0 ÷ 5 *ма* или, в крайнем случае, 0 ÷ 10 *ма* либо миллиамперметры типов 4МШ, 5МЛ (довоенного выпуска). Можно применять также щитовые приборы типа ММ и др. Данные ряда миллиамперметров приведены в табл. 1.

Использование вольтметров. Для изготовления омметров можно использовать широко распространенные магнитоэлектрические вольтметры типов М-1 или М-2 (имеющие такие же размеры, как и миллиамперметры этих же марок), вольтметры М-63, 4МШ, МК-55, ПМ-70 и др. Данные ряда вольтметров, которые могут быть использованы, приведены в таблице, помещенной на обложке. При изготовлении омметров из вольтметров необходимо в последних удалить или замк-

Таблица 1

ДАННЫЕ МИЛЛИАМПЕРМЕТРОВ

Тип	Шкала, *ма*	Цена деления шкалы, *ма*	Число делений шкалы (кроме нулевого)
М-1, М-2	0÷1	0,05	20
	0÷5	0,2	25
	0÷10	0,5	20
5МЛ	0÷5	0,2	25
4МШ	0÷15	0,5	30
ММ	0—10	0,5	20
МК-55	0÷5	0,2	25
	0÷10	0,5	20
	0÷15	0,5	30
ПМ-70	0÷5	0,1	50
	0÷10	0,2	50
	0÷15	0,5	30

нуть накоротко внутренние добавочные сопротивления за исключением случаев, указанных на стр. 8.

В табл. 2 даны марки приборов типа М-1 и М-2 (по каталогу) в зависимости от их конструкции и некоторые их конструктивные данные.

Использование термоприборов. В отдельных случаях радиолюбителю может представиться возможность использования магнитоэлектрических приборов типов М-41, М-51 (для утопленного монтажа) или М-43, М-53 (для выступающего монтажа) от термоэлектрических амперметров Т-41, Т-51, Т-43 или Т-53 с неисправными термопарами. Возможно также использование магнитоэлектрического прибора от термоамперметра типа Т-61. Все эти термоэлектрические амперметры предназначаются для измерения токов высокой частоты и выпускаются со шкалами 0 ÷ 0,25 *а*, 0 ÷ 0,5 *а*, 0 ÷ 1 *а*, 0 ÷ 2 *а*, 0 ÷ 3,6 *а*, 0 ÷ 5 *а* и др. Указанные на шкалах пределы измерения токов имеют место при включении их с термоэлементами, входящими в комплект амперметров. Амперметры типов Т-41, Т-43, Т-51, Т-53 на все пределы измерения, а также амперметры Т-61 со шкалой на 0 ÷ 1 *а* имеют термоэлементы в отдельной от измерителя «коробочке». Для переделки этих приборов в омметры термопары просто не нужно включать. Термоамперметр Т-61 со шкалой 0—0,25 *а* имеет термоэлемент, замонтированный внутри корпуса самого прибора. Для использования этого амперметра в омметре тер-

моэлемент нужно удалить из него и вывести к его зажимам концы подвижной рамки (обмотки) прибора. При этих условиях амперметры превращаются в миллиамперметры со значительно меньшими пределами измерения, чем обозначено на шкале.

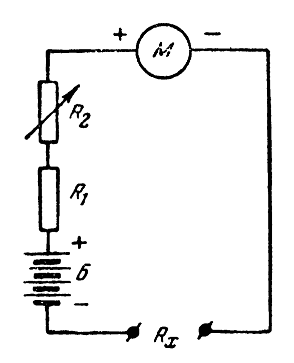
Таблица 2

МАРКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ МИЛЛИАМПЕРМЕТРОВ И ВОЛЬТМЕТРОВ ТИПА М-1 и М-2

	М-1		М-2	
	для утопленного монтажа	для выступающего монтажа	для утопленного монтажа	для выступающего монтажа
Приборы без экрана	М-51	М-53	М-41	М-43
Приборы с экраном	М-52	М-54	М-42	М-44
Высота и ширина прибора, *мм*	63	63	83	83
Расстояние между центрами крепежных отверстий, *мм*	47	—	63	—
Длина шкалы, *мм*	41,5	41,5	61,5	61,5
Длина стрелки, *мм*	27	27	40	40
Угол полного отклонения стрелки в градусах	88°	88°	88°	88°

Основная погрешность приборов не более $\pm 2{,}5\%$ от максимального значения шкалы (при температуре $17 \div 23$°С). Дополнительная погрешность при изменениях температуры до —50°С или +60°С не более $\pm 2{,}5\%$ на каждые 10°С изменения температуры.

Омметр с последовательным переменным сопротивлением. Простейшая схема омметра показана на фиг. 1. Такой омметр содержит в себе, кроме миллиамперметра *М*, батарею *Б*, постоянное сопротивление R_1, переменное сопротивление R_2 и два зажима R_x для подключения измеряемого сопротивления.



Фиг. 1. Схема омметра с последовательным сопротивлением.

Расчет сопротивлений. Выбор величин сопротивлений зависит от пределов измерения тока миллиамперметром и напряжения батареи *U*. Общая величина сопротивлений R_1 и R_2 находится по формуле

$$R_1 + R_2 = \frac{1\,000 \cdot U}{I_н}, \qquad (1)$$

где I_n — предел измерения миллиамперметра, т. е. сила тока в миллиамперах, дающая полное отклонение стрелки. Желательно, чтобы величина переменного сопротивления R_2, служащего для установки перед измерениями стрелки прибора „на нуль“, составляла примерно одну десятую часть от суммарного сопротивления R_1+R_2. Пусть имеется, например, миллиамперметр с пределом измерения до 1 *ма* и батарея от карманного фонаря с напряжением 4,5 *в*. Тогда общее сопротивление

$$R_1+R_2=\frac{1\,000\cdot U}{I_n}=\frac{1\,000\cdot 4{,}5}{1}=4\,500 \text{ ом}.$$

Имея переменное сопротивление R_2 с максимальной величиной 500 *ом*, изготовляем или подбираем постоянное сопротивление $R_1=4\,000$ *ом*. Тогда при полностью введенном сопротивлении R_2 и замкнутых накоротко зажимах R_x стрелка прибора дает полное отклонение. Это положение явится „нулем“ омметра, „нуль“ же миллиамперметра будет соответствовать бесконечно большому сопротивлению между зажимами R_x. Следовательно, величины сопротивлений на шкале омметров будут возрастать справа налево. При желании получить шкалу омов с величинами, возрастающими слева направо, можно смонтировать прибор в перевернутом положении.

Если батарея омметра несколько разрядится и напряжение ее будет меньше 4,5 *в*, то для получения в цепи тока силой 1 *ма* (при короткозамкнутых зажимах R_x), т. е. для установки стрелки на „нуль“ омметра, нужно несколько уменьшить введенную часть сопротивления R_2.

Действие омметра. Допустим, что при полном напряжении батареи и полностью введенном сопротивлении R_2 между зажимами R_x включено сопротивление 4500 *ом*. Тогда сила тока в цепи по закону Ома будет:

$$I=\frac{U}{(R_1+R_2)+R_x}=\frac{4{,}5}{(4\,000+500)+4\,500}=0{,}5 \text{ ма}$$

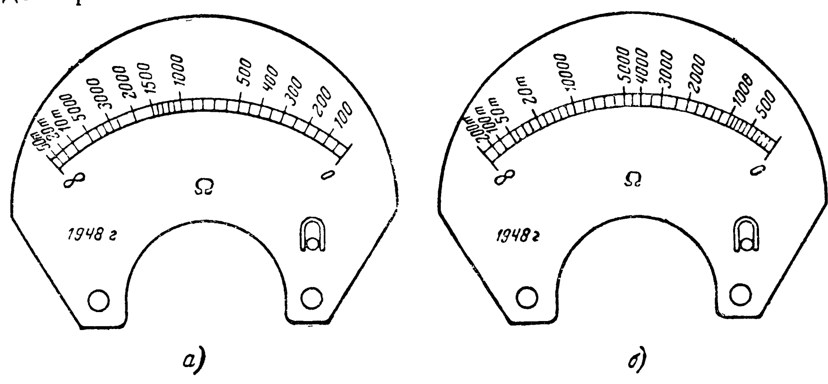
и стрелка прибора отклонится только до середины шкалы. Если между зажимами R_x включить сопротивление 9000 *ом*, то сила тока будет равна:

$$I=\frac{4{,}5}{(4\,000+500)+9\,000}=0{,}33 \text{ ма}$$

и стрелка отклонится на одну треть шкалы. Соответственно, если включить сопротивление в 40 000 *ом*, то ток будет равен:

$$I = \frac{4,5}{(4\,000 + 500) + 40\,000} \approx 0,1 \text{ ма},$$

т. е. стрелка отклонится только на одну десятую шкалы. При больших измеряемых сопротивлениях отклонение стрелки будет еще меньше и отсчет показаний прибора в конце шкалы омметра (в ее левой части) становится затруднительным и поэтому измерение сопротивления по этой части шкалы будет приближенным.



Фиг. 2. Шкалы омметров.

На фиг. 2 для иллюстрации показаны шкалы омметров с батарейкой карманного фонаря и с миллиамперметрами различной чувствительности. Шкала *а* относится к омметру с миллиамперметром на ток до 5 *ма*, а шкала *б* — к омметру с прибором на ток до 1 *ма*.

Омметр из вольтметра. От указанного выше соотношения сопротивлений R_1 и R_2 можно отступить, например, при изготовлении омметра с батарейкой от карманного фонаря из вольтметра с пределом измерения $0 \div 3$ *в* или $0 \div 3/30$ *в*. Если используется вольтметр типа М-1 или М-2 с таким пределом измерения и током для полного отклонения стрелки в 8,5 *ма*, то при напряжении батареи 4,5 *в* суммарное сопротивление должно быть

$$R_1 + R_2 = \frac{4,5 \cdot 1\,000}{8,5} \cong 530 \text{ ом}.$$

Такой вольтметр для измерений по шкале $0 \div 3$ *в* имеет внутри добавочное сопротивление около 350 *ом*, которое и

можно использовать в качестве постоянного сопротивления R_1 схемы омметра. При этом нужно взять переменное сопротивление величиной 180÷200 *ом*, что даст необходимую по расчету суммарную величину. Можно также увеличить постоянное сопротивление, включив последовательно в цепь еще одно постоянное сопротивление в 130—150 *ом*, и в качестве переменного сопротивления R_2 применить типовой реостат накала от приемника с сопротивлением 50÷35 *ом*. Аналогичным образом можно найти, что, применяя в качестве омметра вольтметр М-1 или М-2 со шкалой 0÷8 *в*, стрелка которого дает полное отклонение при токе 8,5 *ма*, нужно включить последовательно с ним две батарейки карманного фонаря (общее напряжение 9 *в*) и переменное сопротивление около 100 *ом*.

Изготовление шкалы. На шкалу омметра можно нанести градуировку в омах с достаточной для практических целей точностью, вычисляя его показания при различных величинах сопротивлений R_x по формуле, которой мы уже пользовались выше:

$$I = \frac{U}{(R_1 + R_2) + R_x}. \qquad (2)$$

По результатам вычислений по этой формуле силы тока при различных сопротивлениях R_x против соответствующих делений шкалы милиамперметра с помощью остро отточенного карандаша наносятся новые деления в омах. После этого по полученному образцу шкалы можно начертить тушью для омметра новую шкалу с градуировкой только в омах и наклеить ее поверх старой шкалы миллиамперметра. Перенос делений с одной шкалы на другую и наклейка новой шкалы должны быть произведены очень тщательно. Положение делений новой шкалы должно абсолютно точно совпадать с положением тех же делений на старой шкале миллиамперметра.

Более точную градуировку шкалы омметра можно произвести с помощью магазина эталонных сопротивлений. Для такой градуировки следует предварительно наклеить на старую шкалу вырезанный по ее форме листок чистой бумаги. Установив предварительно стрелку прибора на «нуль» при замкнутых накоротко зажимах R_x, к ним присоединяют магазин эталонных сопротивлений и постепенно эти сопротивления увеличивают. При каждой установленной величине сопротивления стрелка омметра займет определенное положение, которое следует отметить на шкале омметра соответствую-

щим значением ом. Таким образом на шкалу омметра наносится непрерывный ряд градуировочных точек. Когда градуировка окончена, отвинчивают крепящие шкалу омметра винты, осторожно (не погнуть стрелку!) снимают шкалу и нанесенные деления и цифры аккуратно обводят тушью. После этого шкала снова укрепляется на свое место.

Отградуировать омметр можно с достаточной точностью и без эталонов, если в распоряжении радиолюбителя имеется набор обычных сопротивлений (например ТО, ЛС), содержащий по несколько штук сопротивлений одинаковой номинальной величины. Сопротивление массового выпуска, маркированные одной номинальной величиной, как известно, фактически имеют число омов, отличающееся от обозначенного: Так, например, сопротивление, имеющее обозначение 1 000 *ом* ± ±20% может иметь фактическую величину в пределах от 800 до 1 200 *ом*; сопротивление с маркировкой 300 000 *ом* ± ± 10% фактически может иметь от 270 000 до 330 000 *ом* и т. д. Желательно применять для градуировки сопротивления, на которых стоит допуск ±5%. При градуировке следует сначала поочередно включать на зажимы сопротивления с какой-либо одинаковой маркировкой, отмечая показание стрелки для каждого экземпляра сопротивления, а затем окончательно нанести на шкалу среднее из всех полученных значений, обозначив его номинальной величиной. Затем включают поочередно несколько сопротивлений с другой номинальной величиной и таким же способом наносят на шкалу другую точку, соответствующую этой номинальной величине, и т. д. Чем выше класс точности применяемых сопротивлений, чем больше в наборе одинаковых сопротивлений и чем больше их общее количество, тем точнее удастся произвести градуировку омметра.

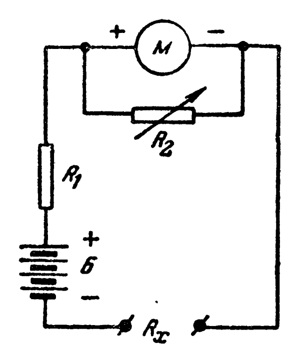
Разряд батареи и точность измерений. Отметим, что даже при использовании эталонных сопротивлений градуировка будет точной только при полном (расчетном) напряжении батареи. Практически, чтобы избежать при измерениях существенных погрешностей, недопустимо работать с батареей, напряжение которой ниже расчетного на 10%.

Если сопротивление R_1 составляет 10% от величины общего сопротивления $R_1 + R_2$, то при падении напряжения батареи больше чем на 10% уже не удастся установить стрелку омметра на нуль шкалы омов регулировкой сопротивления R_2. Это обстоятельство является показателем непригодности батареи к дальнейшей работе.

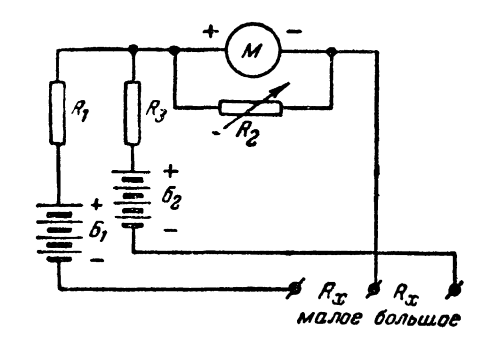
Омметр с параллельным сопротивлением для установки нуля. Схема такого омметра (фиг. 3) отличается от схемы фиг. 1 тем, что в ней установка нуля осуществляется с помощью переменного сопротивления R_2, включенного параллельно измерительному прибору. Величина сопротивления R_2 должна быть в $10 \div 20$ раз больше сопротивления прибора. Величина последовательного сопротивления R_1 для этой схемы определяется по формуле

$$R_1 = \frac{800 \cdot U}{I_n}, \tag{3}$$

где приняты те же обозначения, что и в формуле (1).



Фиг. 3. Схема омметра с параллельным сопротивлением.



Фиг. 4. Схема омметра на два предела измерений.

Если напряжение батареи в схеме фиг. 3 уменьшится, то для установки прибора на нуль по шкале омов нужно увеличивать введенную величину сопротивления R_2, уменьшая тем самым ток, ответвляющийся в это сопротивление. Таким образом эта схема позволяет получить одинаковый ток через прибор при изменениях напряжения батареи и потому показания омметра, выполненного по этой схеме, меньше будут зависеть от напряжения батареи, чем показания омметра по схеме фиг. 1.

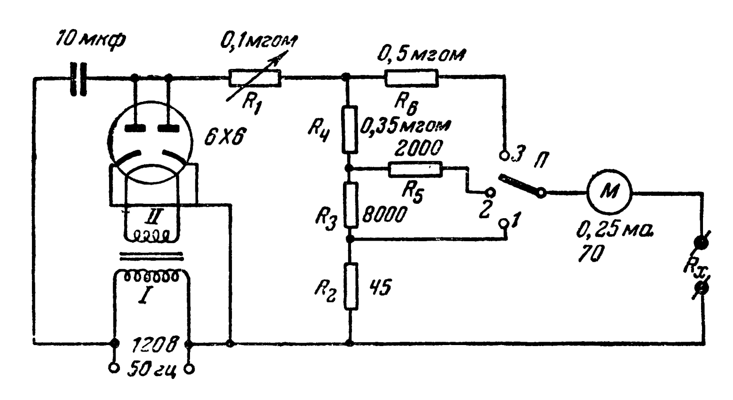
При использовании в этой схеме вольтметра с пределом измерения $0 \div 3$ *в* с батарейкой на 4,5 *в* или вольтметра с пределом измерения $0 \div 8$ *в* с батарейкой на 9 *в* можно также использовать добавочное сопротивление вольтметра, руководствуясь изложенными выше напряжениями.

Способ градуировки омметра по схеме фиг. 3 не отличается от способа градуировки омметра по схеме фиг. 1.

Омметр на два предела измерения. На фиг. 4 дана схема омметра на два предела измерения (с двумя шкалами). Сравнительно малые сопротивления, подлежащие измерению, включаются между зажимами «R_x — малое». При этом питание прибора осуществляется от одной-двух батареек карманного фонаря $Б_1$ через сопротивление R_1. Подлежащие измерению сопротивления большей величины включаются между клеммами « R_x — большое», и в этом случае питание прибора осуществляется от одной-двух батарей $Б_2$ типа БАС через сопротивление R_3. Установка нуля перед измерениями должна производиться шунтирующим прибор сопротивлением R_2 отдельно для каждой шкалы. При миллиамперметре со шкалой 0—1 *ма* и при одной батарейке карманного фонаря сопротивление R_1 должно иметь величину 3 600 *ом*, а при двух батарейках карманного фонаря — 7 200 *ом*. Сопротивление R_3 при одной батарее БАС-80 должно иметь величину 64 000—65 000 *ом*, а при двух батареях БАС-80, соединенных последовательно,—около 130 000 *ом*. При таких данных омметр позволит измерять с достаточной точностью сопротивления величиной до нескольких мегомов при нижнем пределе измерения порядка сотен омов.

Омметр с питанием от сети постоянного тока. Омметры с питанием от батареи удобны тем, что их применение не связано с наличием в месте работы с ними сети электрического тока. Когда же имеется сеть постоянного тока, то для питания омметра вполне возможно использовать вместо батареи эту сеть. При использовании сети постоянного тока с напряжением 220 *в* омметром, содержащим миллиамперметр с пределом измерения 0 ÷ 1 *ма*, можно будет измерять сопротивления величиной до нескольких мегом. Если в омметре применена схема фиг. 1, постоянное сопротивление R_1 должно иметь величину 180 000 ÷ 200 000 *ом* и переменное сопротивление R_2 должно быть взято соответственно 50 000 ÷ 30 000 *ом*. Здесь можно использовать обычный непроволочный потенциометр с линейным изменением сопротивления. В случае схемы фиг. 3 постоянное сопротивление должно иметь величину 170 000 ÷ 180 000 *ом*. В обоих случаях необходимо применять постоянные сопротивления на мощность не менее 0,5 *вт* или составлять их из соответствующих по величине сопротивлений меньшей мощности. При том же напряжении сети, но с прибором, имеющим предел измерения 0 ÷ 5 *ма*, омметр даёт возможность измерять с удовлетворительной точностью

сопротивления примерно до 0,5 *мгом*. В таком приборе практически не удается применить схему с последовательным переменным сопротивлением, так как выделяемая при этом на типовом переменном сопротивлении мощность будет больше допустимой, а применяется схема фиг. 3, где постоянное сопротивление R_1 должно иметь величину 35 000 *ом*. Это сопротивление должно быть $1^1/_2 \div 2$-ватным или должно быть составлено из нескольких соответствующих сопротивлений меньшей мощности.



Фиг. 5. Схема омметра с питанием от сети переменного тока.

Омметр с питанием от сети переменного тока. При наличии сети переменного тока возможно питание омметра от последней через выпрямитель, постоянное напряжение которого подводится к схеме омметра по фиг. 1 или 3 вместо батареи. Применяя выпрямитель с напряжением в несколько сот вольт, омметром по схеме фиг. 3 можно измерять сопротивления порядка мегомов даже с миллиамперметром с пределом измерения $0 \div 5$ *ма*. Чтобы величина измеряемого сопротивления меньше сказывалась на напряжении, получающемся на клеммах питания омметра, выход выпрямителя следует нагрузить постоянным сопротивлением такой величины, чтобы через него проходил ток примерно в 10 раз больше тока, потребляемого омметром при замкнутых накоротко зажимах R_x. В этом случае сопротивления омметра и его шкалу можно рассчитывать так же, как и при питании от батарей. Рекомендуется применение стабилизованного выпрямителя.

На фиг. 5 приведена схема омметра с питанием от сети переменного тока, сконструированного радиолюбителем

М. А. Журочко и получившего премию на 6-й заочной радиовыставке. Эта схема содержит в себе выпрямитель на лампе типа 6Х6. Накал лампы осуществляется понижающим трансформатором, а напряжение на ее анод подается непосредственно от сети через конденсатор емкостью в 1 *мкф*.

Выпрямленное лампой 6Х6 напряжение получается на делителе напряжения, состоящем из трех последовательно соединенных сопротивлений R_2, R_3 и R_4.

Омметр имеет три шкалы. Для измерения сопротивлений от 5 до 1 000 *ом* используется напряжение на сопротивлении R_2, при измерении сопротивлений от 100 до 15 000 *ом* — напряжение с концов сопротивлений R_2 и R_3, и для измерения сопротивлений от 150 000 *ом* до 10 *мгом* используется полное напряжение с концов делителя напряжения. Для второй и третьей шкал омметра в схеме имеются самостоятельные последовательные сопротивления R_5 и R_6, аналогичные по назначению сопротивлению R_1 в схемах фиг. 1 и 3. Переключение пределов измерения производится переключателем *П*. Установка нуля омметра для всех его шкал производится с помощью переменного сопротивления R_1, включенного последовательно с делителем напряжения R_2, R_3, R_4 и позволяющего регулировать подаваемое на делитель выпрямленное напряжение при изменениях напряжения питающей сети переменного тока.

Указанные на схеме данные сопротивлений соответствуют напряжению сети 120 *в* и примененному в омметре тов. Журочко миллиамперметру с пределом измерения $0 \div 0{,}25$ *ма*. При применении миллиамперметра с другим пределом измерения или при напряжении сети 220 *в* должны быть подобраны для схемы сопротивления иных величин. Соответственно изменятся и шкалы омметра.

Когда такой омметр используется для измерений в приемниках или усилителях, во избежание короткого замыкания сети через схемы испытываемого аппарата и омметра на землю необходимо последнюю от них отключать. Приемники с универсальным питанием, непосредственно соединенные с электросетью, перед подключением к ним омметра следует во избежание короткого замыкания выключать из сети. Эти же указания нужно иметь в виду и при питании омметра от сети постоянного тока.

2. АВОМЕТРЫ

При налаживании, регулировке и испытании приемников и усилителей радиолюбителю нужно иметь кроме омметра вольтметры для измерения различных постоянных и переменных напряжений, а также амперметры и миллиамперметры для измерения силы тока. Более удобным и экономичным является универсальный прибор, позволяющий путем переключений использовать его для всех этих измерений. Такой прибор часто называют авометр (сокращение слов — ампер — вольт — омметр). Его нетрудно сделать самому, имея в своем распоряжении миллиамперметр магнитоэлектрического типа. Прежде чем давать практические схемы и конструкции авометров, необходимо познакомиться с их отдельными деталями и их расчетом.

Добавочные сопротивления. Для измерения миллиамперметром постоянных напряжений последовательно с ним нужно включать добавочное сопротивление, величина которого может быть подсчитана по формуле

$$R = \frac{1\,000 \cdot U_{max}}{I_n}, \qquad (4)$$

где U_{max} — максимальное измеряемое напряжение в *в*;

I_n — предел измерения прибора в миллиамперах, т. е. ток, дающий полное отклонение стрелки прибора.

Так как величина добавочного сопротивления R обычно значительно больше сопротивления самого миллиамперметра, последним при расчете мы пренебрегаем. Например, при наличии миллиамперметра с пределом измерения до 5 *ма* для измерения напряжения до 500 *в* необходимо добавочное сопротивление

$$R = \frac{1\,000 \cdot 500}{5} = 100\,000 \text{ } ом.$$

Многошкальный прибор. Для того, чтобы можно было точно и в широких пределах измерять напряжения с помощью авометра, необходимо иметь в нем несколько различных добавочных сопротивлений, которые должны быть рассчитаны так, чтобы при включении каждого из них стрелка прибора давала при заданных напряжениях полное отклонение. Если нужен прибор для измерения напряжений до 500 *в*, то к нему следует подобрать одно добавочное сопротивление, рассчитанное по этому максимальному напряжению, и, кроме того, еще несколько сопротивлений меньшей величины, при которых стрелка прибора будет давать пол-

ное отклонение, например, при напряжениях 100 и 10 *в*. По формуле (4) нетрудно определить, что при наличии в схеме миллиамперметра до 5 *ма* потребуются в этом случае добавочные сопротивления в 20 000 и 2 000 *ом*. То или другое из трех добавочных сопротивлений нужно включать в зависимости от величины измеряемого нами напряжения.

Точность измерения напряжений в схемах с электронными лампами. Для измерения постоянных напряжений непосредственно между электродами радиоламп и между различными точками радиоприемных и усилительных схем желательно иметь авометр с возможно большими величинами добавочных сопротивлений.

Из формулы (4) очевидно, что для выполнения этого условия в авометрах такого назначения следует применять миллиамперметры с возможно меньшими пределами измерения. Это обуславливается тем, что в цепях анодов, сеток и других электродов ламп всегда включены те или иные сопротивления. При подключении к электродам ламп вольтметра через эти сопротивления пойдет дополнительный ток на вольтметр, падение напряжения на сопротивлениях увеличится, а напряжение между электродами ламп, к которым подключен вольтметр, уменьшится. Поэтому напряжения, которые показывают магнитоэлектрические вольтметры, всегда меньше действительных напряжений, существующих между электродами ламп до включения авометров. Чем меньше потребляемый вольтметром ток, т. е. чем меньше его предел измерения и, соответственно, чем больше включенное добавочное сопротивление, тем меньше будет разница между напряжениями на электродах ламп при включении или отключении вольтметра. Но даже в случае использования в авометре миллиамперметра с пределом измерения 1 *ма* при больших сопротивлениях в схеме приемника или усилителя эта разница все же будет весьма значительна. При измерении напряжений на электродах, когда в их цепях включены сопротивления порядка мегома, показания магнитоэлектрических приборов не дают даже приближенного суждения о истинных величинах напряжений и точность измерений будет тем меньше, чем меньше отношение величины добавочного сопротивления вольтметра к величине сопротивлений, включенных в цепь соответствующих электродов[1].

---

[1] В конце описания авометров излагается искусственный метод улучшения точности измерения постоянных напряжений обычными магнитоэлектрическими приборами, требующий, однако, вычислений.

Качество вольтметра в отношении только-что описанного его свойства определяется величиной, обратно-пропорциональной пределу измерения применяемого в нем миллиамперметра, и оценивается числом омов его сопротивления на 1 *в* предельного измеряемого напряжения. Этот показатель вольтметра не зависит от включения его на тот или иной предел измеряемых напряжений, а зависит только от применяемого в нем миллиамперметра. Чем больше омов на вольт имеет вольтметр, тем больше он подходит для измерений в цепях с большими сопротивлениями. Так, например, вольтметр, в котором используется миллиамперметр на 5 *ма*, при пределе измерения до 10 *в* работает с добавочным сопротивлением 2 000 *ом*, а при пределе измерения до 100 *в* с добавочным сопротивлением 20 000 *ом*. В обоих случаях его качество одинаково:

$$\frac{2\,000\ ом}{10\ в} = \frac{20\,000\ ом}{100\ в} = 200\ ом/в.$$

При миллиамперметре на 1 *ма* при тех же пределах измерения добавочные сопротивления соответственно будут 10 000 *ом* и 100 000 *ом* и качество вольтметра равно

$$\frac{10\,000\ ом}{10\ в} = \frac{100\,000\ ом}{100\ в} = 1\,000\ ом/в.$$

Следовательно, второй вольтметр по этому показателю будет в 5 раз лучше первого.

Измерение переменных напряжений. Для измерения переменных напряжений низкой частоты последовательно с добавочным сопротивлением нужно включать купроксные выпрямительные элементы (купроксы), назначение которых— преобразование переменного тока в постоянный (точнее пульсирующий).

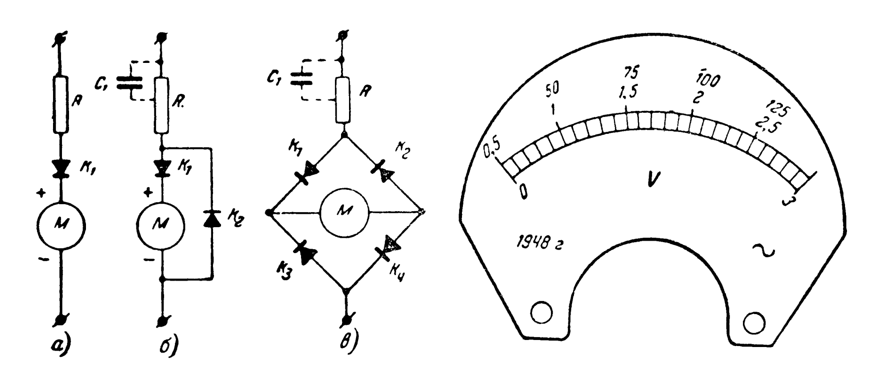
Наша промышленность выпускает для электроизмерительных приборов специальные купроксные элементы.

Схемы включения купроксов. Простейшая схема включения купрокса в схему вольтметра показана на фиг. 6,*а*. Эту схему можно применять только для измерений малых напряжений — в пределах нескольких вольт. Для измерения значительных напряжений ею пользоваться не рекомендуется ввиду возможной порчи купрокса. От последнего недостатка свободна схема фиг. 6,*б*. Здесь купрокс K_1 пропускает ток через миллиамперметр во время одного полупериода переменного напряжения. Другой купрокс K_2 во время этого полупериода ток через себя почти не пропускает. Во время

же второго полупериода купрокс K_1 через себя ток почти не пропускает, а купрокс K_2 пропускает. В результате этого на купроксе K_1 не получается вредного для него напряжения.

Для выпрямления переменных напряжений в авометре можно также применить мостиковую схему (фиг. 6,*в*).

В схемах с купроксами необходимо применять миллиамперметры с пределами измерения до $1 \div 2$ *ма* и, во всяком случае, не более 5 *ма*, так как купроксы, выпускаемые для измерительных приборов, нормально работают только при малых токах. Перегрузка купроксов током может повредить их.



Фиг. 6. Схемы включения купроксов в вольтметрах для измерения переменных напряжений.

Фиг. 7. Типичная шкала прибора переменного тока с купроксами.

Типичная шкала прибора переменного тока с купроксами показана на фиг. 7. В начале шкала неравномерна вследствие наличия криволинейного участка характеристики купрокса и в этих пределах точность измерения понижена. Дальше шкала почти равномерна.

О выборе купроксов. Качество купрокса оценивается отношением силы тока, пропускаемой им в одном прямом направлении, к силе тока, пропускаемой в обратном направлении, при одинаковых напряжениях обоих направлений. Это отношение не является величиной постоянной и зависит от величины подведенного к купроксу напряжения. При очень малых напряжениях — значительно меньше 1 *в* — это отношение невелико и возрастает при повышении напряжения примерно до $2 \div 3$ *в*. При большем напряжении сила тока в обратном направлении начинает возрастать быстрее и отношение токов снова падает — сначала медленно, а начиная с

$5 \div 6$ *в* довольно резко. Оптимальное отношение прямого и обратного токов получается при напряжениях порядка $2 \div 6$ *в* и имеет величину порядка сотен, а у лучших образцов купроксов еще больше.

Так как ток через миллиамперметр определяется как результат совместного действия прямого и обратного токов, необходимо, чтобы действие прямого тока возможно меньше ослаблялось действием обратного тока, так как при этом результирующий ток через миллиамперметр при данном переменном напряжении будет возрастать. Отсюда следует, что чем больше отношение токов, тем меньший переменный ток нужно отбирать от измеряемого источника для получения необходимого тока через миллиамперметр и тем большее добавочное сопротивление необходимо будет в схеме вольтметра с данным купроксом. Таким образом, отношение прямого и обратного токов оказывает существенное влияние на качество вольтметра переменного тока.

Приблизительную оценку качества купрокса можно произвести с помощью омметра, использующего в качестве источника напряжения батарейку карманного фонаря. Купрокс подключается к омметру сначала в одном направлении, а затем — с переменой его полярности. Если измеренные таким образом две величины сопротивления отличаются друг от друга в несколько десятков раз, купрокс можно считать пригодным. Если имеется выбор, следует ставить в схему купрокс с возможно большим отношением прямого тока к обратному. При наличии двух или нескольких купроксов с разными данными в схему фиг. 6,*б* следует поставить купрокс K_1 с большим отношением прямого тока к обратному. К тому же для тока прямого направления желательно выбрать купрокс с возможно меньшим сопротивлением. Купроксы с мало отличающимися сопротивлениями в обоих направлениях нужно признать негодными.

Проверку сопротивлений купроксов недопустимо производить омметрами, питаемыми большими напряжениями, так как они могут повредить купрокс.

Вторым требованием к купроксам для измерительного прибора является небольшая поверхность их выпрямляющих пластин, так как в противном случае плотность тока на единицу выпрямляющей поверхности получается очень малой и отношение прямого тока к обратному уменьшается. Существенно также, что выпрямляющая пара большой поверхности обладает значительной емкостью, которая будет пропускать значительную по сравнению с постоянным током его пере-

менную слагающую, что ухудшает выпрямительное действие купрокса. Кроме того, большая емкость ухудшает частотную характеристику прибора, так как с увеличением частоты переменная слагающая через емкость будеть возрастать, падение напряжения переменного тока на добавочном сопротивлении будет увеличиваться, а напряжение на купроксах будет уменьшаться, т. е. с увеличением частоты (при неизменном напряжении источника) отклонение стрелки прибора будет уменьшаться.

Из этих соображений в авометрах возможно применение только малогабаритных купроксов, предназначаемых специально для измерительной аппаратуры. В них выпрямительные пары имеют действующие поверхности порядка нескольких квадратных миллиметров или десятка квадратных миллиметров. Хорошо работают купроксы типа 3Ч-1, а также типа «Цвитектор». Купрокс 3Ч-1 по внешнему виду и размеру такой же, как конденсатор, запресованный в пластмассу. Можно также рекомендовать применение отечественных купроксов, оформленных в виде штепсельной вилки. Для авометра можно применять также купроксный выпрямитель от телефонных купроксных реле, который состоит из нескольких купроксных элементов, собранных по мостиковой схеме. Отметим, что применение селеновых выпрямительных элементов в измерительных приборах менее желательно, чем применение купроксов, так как они изменяют свое сопротивление при прохождении через них электрического тока, что довольно существенно влияет на точность показаний измерительных приборов.

Частотная характеристика вольтметра с купроксными элементами. Точность показаний вольтметров с купроксными элементами ухудшается с повышением частоты измеряемого напряжения, так как наличие у купроксных выпрямителей емкости вызывает уменьшение при данном напряжении отклонения. При проволочных добавочных сопротивлениях, обладающих индуктивностью, зависимость показаний прибора от частоты еще больше. Зависимость показаний прибора от частоты можно до некоторой степени уменьшить включением параллельно части добавочного сопротивления конденсатора C_1 (фиг. 6). Для самых низких частот емкостное сопротивление конденсатора является наибольшим и через него будет проходить сравнительно небольшой ток. С увеличением частоты сопротивление конденсатора уменьшается и вместе с тем уменьшится и общее сопротивление цепи, поэтому ток, идущий через купроксы и миллиамперметр, возрастает.

Таким способом можно компенсировать падение силы тока через прибор за счет купроксов. Емкость конденсатора и место его включения должны быть подобраны практически (см. ниже).

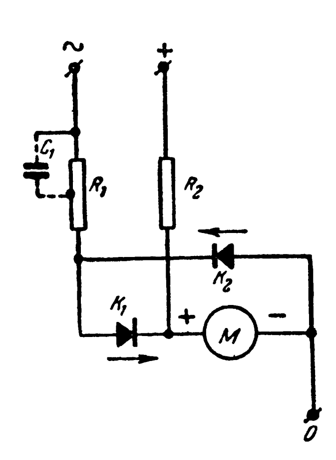
Схема для измерения постоянных и переменных напряжений. Один и тот же прибор можно использовать для измерения как постоянных, так и переменных напряжений. Приборы, собранные по схемам фиг. 6,*а* и 6,*б*, должны подключаться к источникам постоянного тока с обязательным соблюдением полярности: положительный полюс измеряемого напряжения должен включаться на зажим, соединенный с плюсом миллиамперметра. Вольтметр с купроксами, включенными по мостиковой схеме (фиг. 6,*в*), дает показания величины постоянного напряжения при любой полярности включения последнего.

При измерении вольтметром с купроксами сравнительно малых напряжений, когда добавочные сопротивления имеют величину того же порядка, что и сопротивление купроксов в направлении лучшей проводимости, отклонение стрелки не пропорционально величине измеряемого напряжения, т. е. шкала прибора получается неравномерной. При измерении же более высоких напряжений, когда включаются большие добавочные сопротивления, эта неравномерность менее заметна. Отключение купроксов при измерении постоянных напряжений дает возможность получить равномерную шкалу для этих напряжений по всей ее длине. В этом преимущество схемы с отключением купроксов. Заметим, что градуировка шкалы прибора как с отключаемыми, так и постоянно включенными купроксами для постоянных напряжений получается иной, чем для переменных напряжений.

На фиг. 8 показана схема измерения постоянных и переменных напряжений. Хотя в ней при измерении постоянных напряжений купроксы и не выключаются, но практически они не влияют на равномерность градуировки шкалы. Переменное напряжение включается между зажимами ~ и 0. При этом переменный ток идет через добавочное сопротивление R_1 и действие схемы совершенно аналогично действию схемы фиг. 6,*б*. Постоянное напряжение включается между клеммами с обозначениями + и 0; постоянный ток проходит через добавочное сопротивление R_2 и непосредственно через миллиамперметр *М*. В этом случае оба купрокса K_1 и K_2 оказываются включенными последовательно между собой и параллельно миллиамперметру. Для постоянного тока данного направления купроксы обладают несравненно бóльшим со-

противлением, чем миллиамперметр, и ток в купроксы почти не ответвляется. Поэтому, несмотря на наличие купроксов, присоединенных параллельно миллиамперметру, схема действует при измерении постоянных напряжений практически так, как если бы купроксов в схеме не было.

Конструкция добавочных сопротивлений. Добавочные сопротивления для авометра с миллиамперметром на 1 *ма* могут быть намотаны изолированным проводом диаметром не менее 0,03 *мм*, а для авометра с миллиамперметром на 5 *ма*—диаметром не менее 0,08 *мм*. При указанных диаметрах плотность тока в обмотках сопротивлений не будет превышать максимально допустимой нормы (1—1,5 *а/мм*²). Необходимые количества провода для изготовления таких сопротивлений на пределы измерения 0 ÷ 10, 0 ÷ 100 и 0 ÷ 500 *в* при различных применяемых в авометре миллиамперметрах указаны в табл. 3 и 4 (в числителях — длины в *м*, в знаменателях—веса в *г*).



Фиг. 8. Схема с купроксами для измерений переменных и постоянных напряжений.

Весовые данные таблиц соответствуют неизолированному проводу. Для определения необходимого веса провода в эмалевой изоляции необходимо ориентировочно сделать накидку в 20%, а для проводов ПЭШО, ПШО или ПШД ориентировочная накидка веса составляет 50%. В случае применения в авометре на такие же напряжения миллиамперметра с пределом измерения до 10 *ма* можно воспользоваться данными табл. 4, уменьшив в 2 раза величину сопротивления, длину и соответственно вес провода. Данными этих таблиц можно пользоваться и для определения необходимого количества провода при других задаваемых пределах измерения в вольтах, увеличивая или уменьшая пропорционально изменению пределов измерения вес и длину проводов.

Добавочные сопротивления для напряжений свыше 100 *в* нужно наматывать секциями, чтобы на каждой секции получалось падение напряжения не свыше 50 ÷ 100 *в*.

Применение остеклованных и непроволочных сопротивлений. В качестве добавочных сопротивлений можно рекомендовать применение эмалированных (остеклованных) сопро-

тивлений, а также стабильных непроволочных сопротивлений, например типа СС. Сопротивления ТО применять не следует, так как они с течением времени значительно изменяют свою величину. При применении непроволочных сопротивлений, из соображений устойчивости их работы в схеме (стабильности их величины при нагревании током), необходимо руководствоваться следующим: 1. Мощность, фактически рассеиваемая на каждом сопротивлении, должна быть по крайней мере в 2 раза меньше номинально допустимой для них. 2. Падение напряжения на каждом сопротивлении не должно превышать 100 *в*. В последних строках табл. 3 и 4 указаны необходимые для составления заданных добавочных сопротивлений минимальные количества последовательно соединяемых сопротивлений и номинальные мощности каждого из них. Данными в части номинальных мощностей можно пользоваться в том случае, если действительные величины отдельных не-

Таблица 3

ДАННЫЕ ДОБАВОЧНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ К АВОМЕТРУ С МИЛЛИАМПЕРМЕТРОМ НА 1 *ма* ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Предел измерения	0—10 *в*		0—100 *в*		0—500 *в*	
Величина добавочного сопротивления . . .	10 000 *ом*		100 000 *ом*		500 000 *ом*	
Диаметр провода, *мм*	0,05	0,08	0,05	0,08	0,05	0,08
Никелин, *м*/*г*	49,0/0,9	126/5,6	490/8,2	1 260/56	2 450/41	6 300/280
Манганин, *м*/*г*	45,6/0,8	117/5	456/7,6	1 170/49	2 280/38	5 850/245
Константан, *м*/*г*	40,0/0,7	103/4,6	400/7,0	1 030/46	2 000/35	5 150/230
Медь, *м*/*г*	1 120/20	2 770/125	—	—	—	—
Непроволочные	1 шт. 0,25 *вт*		1 шт. 0,25 *вт*		5 шт. по 0,25 *вт*	

Таблица 4

ДАННЫЕ ДОБАВОЧНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ К АВОМЕТРУ С МИЛЛИАМПЕРМЕТРОМ НА 5 *ма* ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Предел измерения	0÷10 *в*		0÷100 *в*		0÷500 *в*	
Величина добавочного сопротивления . . .	2 000 *ом*		20 000 *ом*		100 000 *ом*	
Диаметр провода, *мм*	0,08	0,1	0,08	0,1	0,08	0,1
Никелин, *м*/*г*	25,2/1,2	39,2/3	252/12	392/27,5	1 260/56	1 960/137
Манганин, *м*/*г*	23,4/1	36,6/2,5	234/10	366/24,	1 170/49	1 830/122
Константан, *м*/*г*	20,6/1	32,0/2,4	206/9,2	320/22,5	1 030/46	1 560/110
Медь, *м*/*г*	575/26	900/63	—	—	—	—
Непроволочные . . .	1 шт. 0,25 *вт*		1 шт. 1 *вт*		5 шт. по 1 *вт*	

проволочных сопротивлений, образующих добавочное сопротивление, отличаются друг от друга не больше чем на 20%. Если же разница в их величинах значительнее, необходимо для каждого сопротивления определить фактически рассеиваемую мощность P по формуле

$$P = \frac{I^2_{max} \cdot R}{1\,000\,000}, \tag{5}$$

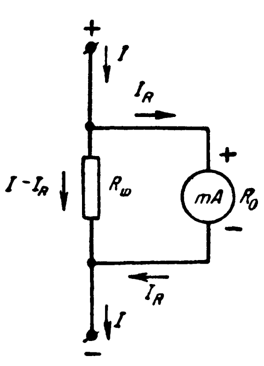
где R — величина этого сопротивлениия, *ом*;

I_{max} — максимально возможный ток, проходящий через сопротивление в *ма*.

Если полученная расчетом мощность будет больше половины номинальной мощности данного непроволочного сопротивления, нужно изменить комбинацию выбранных непроволочных сопротивлений, образующих добавочное сопротивле-

ние. В начале нет необходимости точно подгонять каждое добавочное сопротивление под расчетную величину. Дело в том, что полученная расчетом величина добавочного сопротивления может не вполне соответствовать необходимой величине. Такое явление может иметь место в том случае, когда ток полного отклонения миллиамперметра несколько отличается от принятого при расчете, например, вследствие старения магнита, пружинок прибора или в результате смещения магнитного шунта (см. ниже). Проверка соответствия изготовленного добавочного сопротивления и в случае необходимости подгонки его величины производится в процессе градуировки авометра..

Подбор добавочных сопротивлений для схемы с купроксами. По формуле (4) расчет величин добавочных сопротивлений для схем с купроксами не будет точным. Действительно, необходимые добавочные сопротивления для схем фиг. 6 всегда будут меньше. Заранее точно рассчитать добавочные сопротивления не представляется возможным, так как различные экземпляры купроксов обладают различной проводимостью как в прямом, так и в обратном направлении, что существенно влияет на показания прибора. Поэтому, если желательно иметь вольтметр с заранее заданными пределами измерений, добавочные сопротивления необходимо подбирать практически в процессе градуировки прибора, как будет описано ниже.



Фиг. 9. Схема включения шунта к миллиамперметру.

Шунты к миллиамперметру. Для измерения токов большей силы, чем предел измерения миллиамперметра, параллельно ему включают сопротивление, носящее название шунта (фиг. 9); тогда ток разветвляется: одна часть его проходит через миллиамперметр, а другая — через шунт. Сопротивление шунта $R_ш$ рассчитывается по формуле

$$R_ш = R_0 \cdot \frac{I_n}{I_{max} - I_n} \qquad (6)$$

или

$$R_ш = \frac{R_0}{n-1}, \qquad (7)$$

где R_0 — сопротивление миллиамперметра;

I_n — сила тока через миллиамперметр при отклонении его стрелки до последнего деления шкалы;

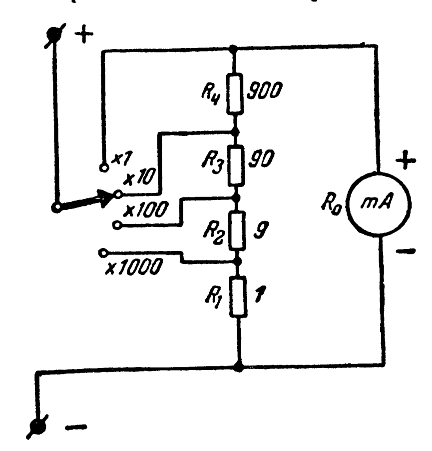
I_{max} — максимальная сила тока, которую нужно измерить миллиамперметром с включенным шунтом;

n — требуемое увеличение предела измерения миллиамперметра.

Например, для увеличения предела измерения 5-миллиамперного прибора, имеющего сопротивление 2 *ом*, в 100 раз, т. е. до 500 *ма*, необходимо параллельно ему включить шунт с сопротивлением

$$R_ш = 2 \cdot \frac{5}{500 - 1} \approx 0{,}02 \text{ ом}.$$

Стрелка миллиамперметра даст в этом случае полное отклонение при силе тока в общей цепи, равной 500 *ма*, в то же время сила тока через миллиамперметр будет равна 5 *ма*.



Фиг. 10. Схема „универсального" шунта к миллиамперметру.

Для получения точности измерения в широких пределах нужно иметь несколько шунтов с различными сопротивлениями, рассчитанными таким образом, чтобы при включении различных шунтов стрелка миллиамперметра отклонялась до конца его шкалы при различных силах тока в цепи. Если необходимо, например, иметь прибор для измерения токов силой до 5 *а*, то можно сделать к нему один шунт на этот максимальный ток и, кроме того, еще шунты, при включении которых стрелка миллиамперметра будет давать полное отклонение, например, при токах в 500 *ма* и 50 *ма*. Необходимые сопротивления шунтов определяются по формуле (6) или (7). Измерение тока до 5 *ма* может производиться при отключенных шунтах.

Универсальный шунт. В авометрах очень удобно применение так называемого универсального шунта, схема включения которого показана на фиг. 10. Основным преимуществом такого шунта является возможность широкого изменения

пределов измерения силы тока при практической независимости сопротивления шунта от сопротивления миллиамперметра (при условии, что сопротивление миллиамперметра значительно меньше сопротивления шунта), и потому шунт может быть применен к любому миллиамперметру. Особенностью такого шунта является то обстоятельство, что падение напряжения на приборе с шунтом при любом пределе измерения тока одинаково.

Как видно из фиг. 10, универсальный шунт состоит из нескольких последовательно соединенных сопротивлений определенной величины и переключателя. Измерение токов, не превышающих пределы измерения миллиамперметра, осуществляется при установке переключателя в положение, обозначенное $\times 1$; в этом случае практически весь ток идет через миллиамперметр, так как суммарное сопротивление $R_1 + R_2 + R_3 + R_4$ значительно больше сопротивления миллиамперметра R_0. При установке переключателя в положение $\times 10$ только одна десятая часть тока, проходящего в измеряемой цепи, ответвляется через сопротивление R_4 и миллиамперметр M, а остальной ток идет через сопротивления R_1, R_2 и R_3; следовательно, предел измерения прибора при этом положении переключателя увеличивается в 10 раз. Если установить переключатель в положение $\times 100$, то через сопротивления R_3, R_4 и миллиамперметр пойдет только одна сотая часть общего тока и 0,99 его пойдет через сопротивления R_1 и R_2 — предел измерения увеличится в 100 раз. Соответственно при установке переключателя в положение $\times 1\,000$ предел измерения увеличится в 1 000 раз.

В случае миллиамперметра с пределом измерения до 1 *ма* с помощью такого универсального шунта пределы измерения расширяются до 10, 100 *ма* и 1 *а* — в зависимости от положения переключателя; пределы измерения миллиамперметра на 5 *ма* расширятся соответственно до 50, 500 *ма* и 5 *а*. По тому же принципу может быть сделан шунт с другими величинами сопротивлений и с другими изменениями пределов измерения.

Расчет универсального шунта. Между величинами отдельных сопротивлений универсального шунта должна существовать следующая зависимость: при любом положении переключателя сумма сопротивлений, включенных последовательно с прибором, должна быть по крайней мере в 10—20 раз больше сопротивления прибора R_0 и в $n-1$ раз больше суммы сопротивлений, включенных между точками + и —, где n — требуемое увеличение предела измерения миллиам-

перметром при переводе переключателя в следующее положение. Выражая эту зависимость математически, получаем:

$$\left.\begin{aligned} R_4 &= (R_1 + R_2 + R_3) \cdot (n_{12} - 1), \\ R_3 + R_4 &= (R_1 + R_2) \cdot (n_{23} - 1), \\ R_2 + R_3 + R_4 &= R_1 \ (n_{34} - 1), \\ R_1 + R_2 + R_3 + R_4 &\gg R_0, \end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

где n_{12} — увеличение предела измерения при переводе переключателя из первого положения (соответствующего наименьшему пределу измерения) во второе;
n_{23} — то же — при переводе из второго в третье;
n_{34} — то же — из третьего в четвертое (соответствующее наибольшему пределу измерения).

Конструктивное выполнение шунтов. Шунты следует выполнять из манганиновой, константановой или никелиновой проволоки. Диаметр проволоки в каждой секции шунта следует выбирать из расчета максимальной силы тока, которая будет проходить через нее. Небольшая допустимая плотность тока в проволочных шунтах, так же как и в добавочных сопротивлениях, должна быть 1 ÷ 1,5 *а/мм*². В табл. 5 и 6 приведены диаметры проводов для секций универсального шунта к миллиамперметрам на 1 и 5 *ма*, при которых плотность тока не превысит указанной величины. В следующих строках таблиц указаны необходимые длины проводов из различных материалов, при которых получаются заданные величины сопротивлений. Вследствие того, что химический состав проводов в различных партиях не вполне однороден, указанные длины нужно рассматривать как средние, а действительно потребные для получения этих сопротивлений длины проводов могут несколько отличаться от указанных в табл. 6 и 7.

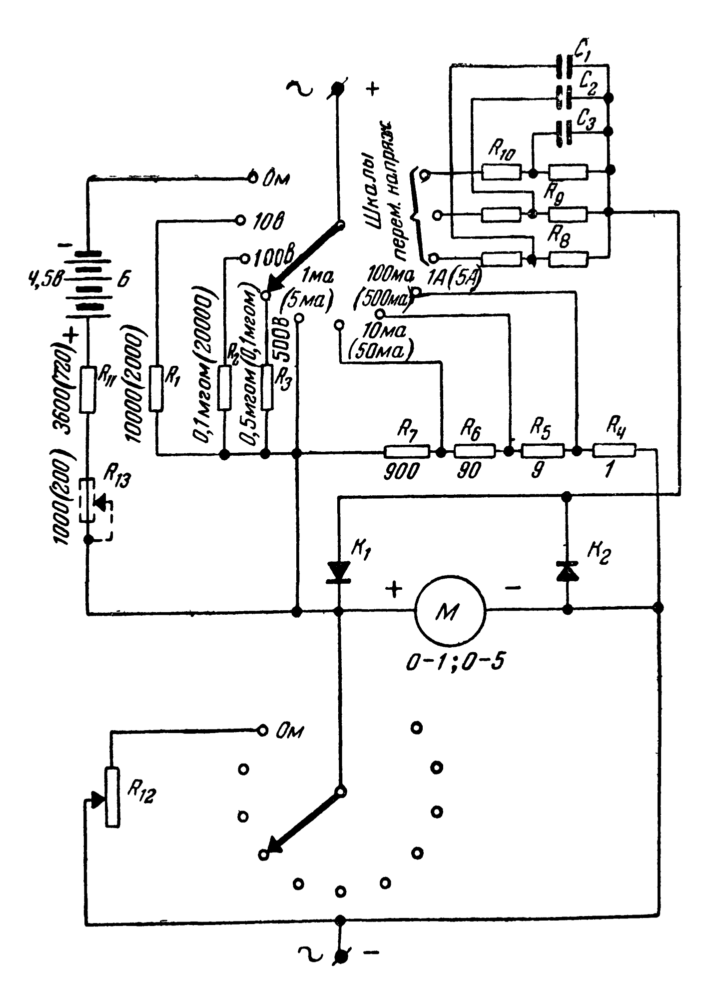
При применении изолированной проволоки шунт можно намотать на каркасе из изоляционного материала любым удобным способом. Неизолированную проволоку следует наматывать на пластинку, трубку или стержень из изоляционного материала с интервалами между витками. В качестве каркасов для проволочных секций шунтов в 90 и 900 *ом* можно использовать сопротивления Каминского, СС или даже ТО, припаивая концы шунтов к выводам этих сопротивлений. При этом не следует забывать, что сопротивление, используемое в качестве каркаса, оказывается включенным параллельно наматываемому шунту; чтобы сопротивление каркаса практически не влияло на сопротивление шунта, в

Сопротивления секций	1 *ом*			9 *ом*			90 *ом*			900 *ом*		
Диаметр провода, *мм*	1,0	1,2	1,5	0,3	0,35	0,4	0,1	0,15	0,2	0,05	0,08	0,1
Никелин	1,96	2,83	4,42	1,59	2,17	2,83	1,76	3,98	7,06	4,41	11,4	17,6
Манганин	1,83	2,63	4,12	1,48	2,02	2,63	1,64	3,7	6,58	4,09	10,5	16,4
Константан	1,6	2,31	3,61	1,29	1,77	2,31	1,44	3,25	5,76	3,6	9,25	14,4
Медь	—	—	—	—	—	—	40,3	90,5	161	101	258	40

Таблица 6

ДИАМЕТРЫ И ДЛИНЫ ПРОВОДОВ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ НАМОТКИ СЕКЦИЙ УНИВЕРСАЛЬНОГО ШУНТА К МИЛЛИАМПЕРМЕТРУ НА 5 *ма*

Сопротивления секций	1 *ом*			9 *ом*			90 *ом*			900 *ом*		
Диаметр провода, *мм*	1,8	2,0	2,5	0,7	0,8	0,9	0,2	0,25	0,3	0,08	0,1	0,15
Никелин	6,37	7,85	12,3	8,65	11,3	14,3	7,06	11,1	15,9	11,35	17,6	39,8
Манганин	5,93	7,30	11,4	8,04	10,5	13,4	6,58	10,3	14,8	10,5	16,4	37,0
Константан	5,20	6,41	10,0	7,20	9,32	11,7	5,76	9,0	12,9	9,25	14,4	32,5
Медь	—	—	—	—	—	—	161	252	—	258	403	—



Фиг. 11. **Схема авометра на несколько пределов измерения.**

качестве каркасов желательно применять сопротивления порядка мегомов. Во всяком случае, каркас должен иметь сопротивление в 30 ÷ 50 раз больше сопротивления наматываемой на него проволоки.

Практические схемы авометров. На фиг. 11 дана одна из возможных схем авометра, позволяющего измерять переменные и постоянные напряжения, постоянные токи и сопротивления. Переключение видов и пределов измерения осущест-

вляется в этой схеме с помощью переключателя на 11 направлений, состоящего из двух групп контактов $П_1$ и $П_2$.

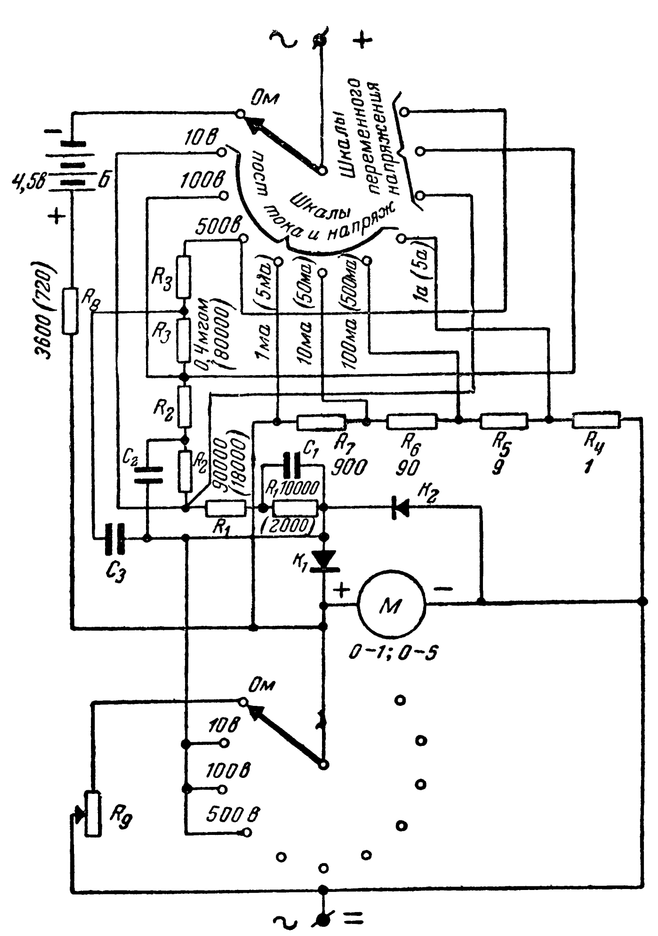
При использовании прибора в качестве омметра переключатель устанавливается в положение *ом*. В этом случае последовательно с миллиамперметром *М* включается батарея *Б* и сопротивление R_{11}, а параллельно миллиамперметру — переменное сопротивление R_{12}, служащее для установки нуля омметра. Схема переключателя может быть при желании упрощена. Для этого вместо параллельного сопротивления R_{12} нужно применить показанное на схеме пунктиром последовательное сопротивление R_{13}. Тогда группа контактов $П_2$ переключателя не будет нужна.

Измерение постоянных напряжений производится при установке переключателя в одно из положений с обозначениями 10, 100 или 500 *в*, соответствующих различным пределам измерения напряжения. При этих положениях переключателя включаются добавочные сопротивления R_1, R_2 или R_3, величины которых определяются формулой (4). На схеме указаны необходимые величины этих сопротивлений (а также сопротивлений омметра R_{11} и R_{12}) при использовании в авометре прибора с пределом измерения 1 *ма*; в скобках указаны величины сопротивлений для прибора на 5 *ма*.

Сопротивления купроксов K_1 и K_2, а также универсального шунта (состоящего из сопротивлений R_4, R_5, R_6, R_7), присоединенных параллельно миллиамперметру, значительно больше сопротивления самого миллиамперметра *М*. Поэтому при измерении постоянных напряжений и сопротивлений практически можно с их присутствием в схеме не считаться. Сопротивление R_{12} при включении авометра на измерение напряжений из схемы выключается и, таким образом, не может внести погрешности в измерения.

Измерение силы постоянного тока производится при установке переключателя в одно из положений 1 *ма* (5 *ма*), 10 *ма* (50 *ма*), 100 *ма* (500 *ма*) и 1 *а* (5 *а*), в зависимости от силы тока, подлежащего измерению. Изменение пределов измерения токов осуществляется переключением универсального шунта (см. стр. 26). Пределы измерения силы тока, указанные на переключателе без скобок, соответствуют случаю применения миллиамперметра на 1 *ма*, а указанные в скобках — случаю применения миллиамперметра на 5 *ма*.

При установке переключателя на измерение переменных напряжений включается одно из добавочных сопротивлений R_8, R_9 или R_{10}, в зависимости от необходимого предела измерения; выпрямление тока производится купроксами, как и в

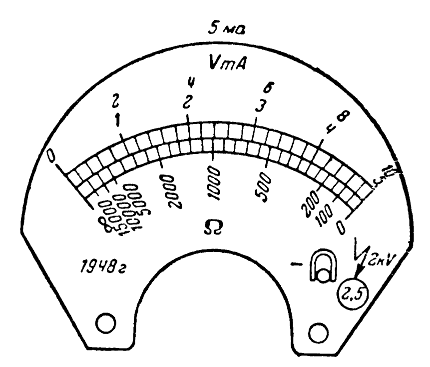


Фиг. 12. **Вариант схемы авометра на несколько пределов измерения.**

схеме фиг. 6,*б*. Величины добавочных сопротивлений R_8, R_9 и R_{10} должны быть подобраны для каждого экземпляра авометра, исходя из выбранных пределов измерения переменных напряжений. Как мы уже говорили выше, они зависят от свойств применяемых купроксов и миллиамперметра.

На фиг. 12 дан другой вариант схемы авометра. Здесь для измерения постоянных и переменных напряжений используются одни и те же добавочные сопротивления. Кроме того, добавочные сопротивления, применяемые для измерения по шкалам напряжений с меньшими пределами, используются

как части добавочных сопротивлений для измерения больших напряжений. При измерении постоянных напряжений купроксный элемент K_1 через контакты переключателя $П_2$ замыкается накоротко, а купроксный элемент K_2 остается включенным параллельно миллиамперметру. Таким образом в схеме фиг. 12, с одной стороны, меньше деталей, чем в схеме фиг. 11, а с другой стороны, схема переключения сложнее. В остальном схемы фиг. 11 и 12 практически равноценны. Сопротивления R_1, R_2 и R_3 выбираются в соответствии с необходимыми пределами измерения постоянных напряжений. Величины сопротивлений, указанные без скобок, соответствуют миллиамперметру на 1 *ма*, и величины в скобках — миллиамперметру на 5 *ма*. Пределы измерения переменных напряжений при разных положениях переключателя будут зависеть от свойств применяемых купроксов.



Фиг. 13. Шкалы постоянных напряжений, токов и сопротивлений для авометра с миллиамперметром на $0 \div 5$ *ма.*

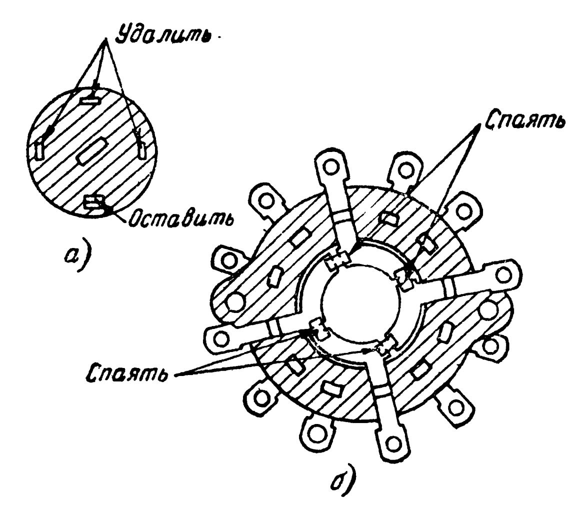
Цепи измерения токов в этой схеме ничем не отличаются от аналогичных цепей в схеме фиг. 11. Так как измерение переменного тока в радиолюбительской практике может понадобиться лишь в некоторых случаях, то для упрощения схемы этот вид измерений в авометре не предусматривается.

Шкалы авометров. На фиг. 13 показана шкала авометра, в котором используется миллиамперметр на 5 *ма*. Отсчет постоянных напряжений и токов производится по делениям верхней шкалы. Когда переключатель авометра установлен в положение 10 *в*, нужно пользоваться верхним рядом цифр, а когда переключатель установлен на измерение токов до 5 *ма* или 5 *а*, — нижним рядом цифр верхней шкалы. При установке переключателя на измерение напряжений до 100 *в* следует пользоваться верхним рядом цифр верхней шкалы, умножая показания на 10, а при положениях переключателя 50 *ма*, 500 *ма* и 500 *в* нужно пользоваться ее нижним рядом цифр, умножая показания соответственно на 10 или на 100. Для измерения сопротивлений нужно с помощью переменного сопротивления (при замкнутых клеммах

авометра) установить стрелку на «нуль» нижней шкалы и при подключении измеряемого сопротивления произвести отсчет его величины по делениям нижней шкалы. Шкалы переменных напряжений не показаны, так как их вид зависит от свойств применяемых купроксов.

Шкала авометра с миллиамперметром на 1 *ма* имеет такой же вид, и пользование ею аналогично выше изложенному.

Конструкция переключателя. В авометрах по схемам фиг. 11 и 12 могут быть использованы переключатели диапазонов от приемников. Для этого платы переключателей



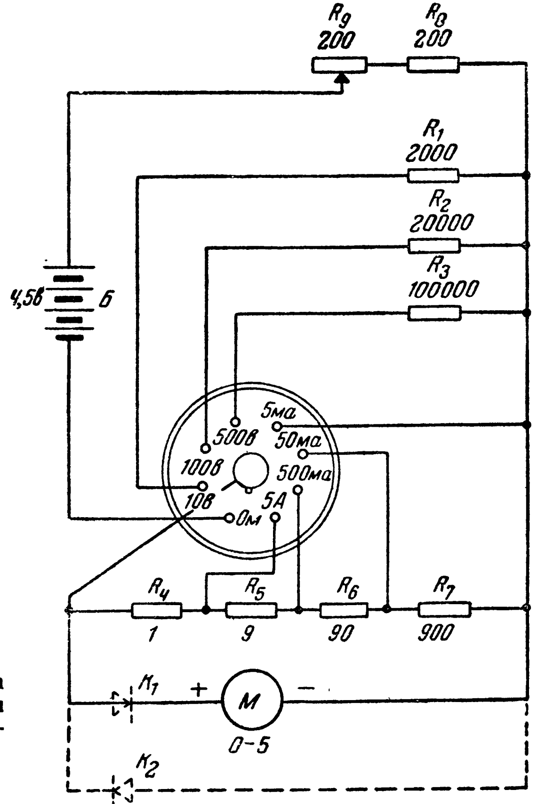
Фиг. 14. Переделка переключателя диапазонов для использования в авометре.

нужно подвергнуть некоторой переделке (фиг. 14). Переключатель разбирается и из каждой его платы удаляются три замыкающих контакта (остается по одному фиг. 14,*а*).

Контактные дужки надо спаять между собой с помощью небольших кусочков тонкой латуни или жести (фиг. 14,*а*). Один из ограничителей вращения спиливается. Таким образом обеспечивается установка переключателя в 11 положений. После указанных переделок переключатель вновь собирается из двух плат.

Авометр без переключателя. Переключатель является относительно дорогой частью авометра. Поэтому на фиг. 15 приведена схема авометра без переключателя. Здесь применяется штепсельное переключение на октальной ламповой панели. В среднем отверстии панели, служащем для ключа электронной лампы, монтируется обыкновенное штепсельное гнездо. Схема соединений миллиамперметра, добавочных со-

противлений и универсального шунта с гнездами ламповой панели ясна из фигуры: к трем гнездам подведены добавочные сопротивления R_1, R_2 и R_3, к четырем гнездам — отводы от универсального шунта (R_4, R_5, R_6, R_7), а к одному из гнезд — цепь омметра. Для упрощения коммутации в

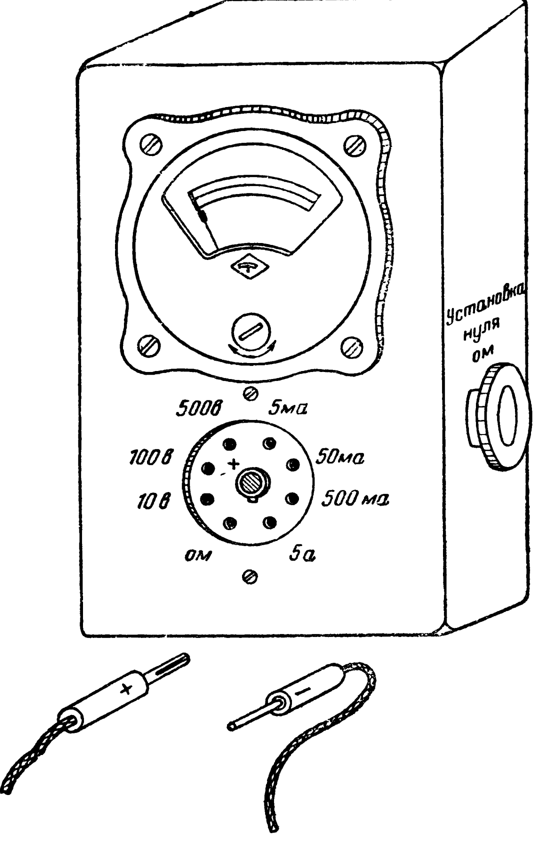


Фиг. 15. Схема авометра с несколькими пределами измерения без переключателя.

этой схеме возможно применение только схемы омметра с последовательным переменным сопротивлением. При желании использовать такой авометр для измерения переменных напряжений и токов в схему могут быть добавлены два купроксных элемента (показаны пунктиром). В среднее гнездо панели с помощью нормального однополюсного штепселя диаметром 4 *мм* включается положительный полюс измеряемой цепи. Второй полюс измеряемой цепи включается с помощью штепсельной ножки, сделанной из проволоки диаметром около 2,4 *мм*, или с помощью ножки от цоколя элек-

тронной лампы в одно из гнезд ламповой панели, расположенных по окружности. Конструктивное оформление такого авометра дано на фиг. 16.

Градуировка авометра. После изготовления авометра нужно произвести его градуировку. Для этого нужны эталонные миллиамперметр и вольтметр; в крайнем случае



Фиг. 16. Конструктивное оформление авометра без переключателя.

можно воспользоваться для градуировки приборами, обладающими меньшим классом точности измерений. Градуировку рекомендуется начинать со шкал измерения тока. При градуировке прибора следует выполнять следующие условия: 1. Градуировать прибор в том положении (горизонтальном или вертикальном), в котором он должен будет работать, так как изменение положения прибора несколько изменяет его градуировку. 2. При наличии у градуируемого прибора ме-

таллического кожуха или экрана градуировку и нанесение делений на шкалу производить обязательно при полностью собранном приборе, так как снятие кожуха или экрана также изменяет его градуировку. Если нужно наносить на шкалу новые деления, то для этой операции придется снять только стекло со шкалы, ни в коем случае не осуществляя градуировку при снятом кожухе:

Градуировка авометра как миллиамперметра. Для этого нужно собрать схему по фиг. 17,*а*. Здесь имеем следующие

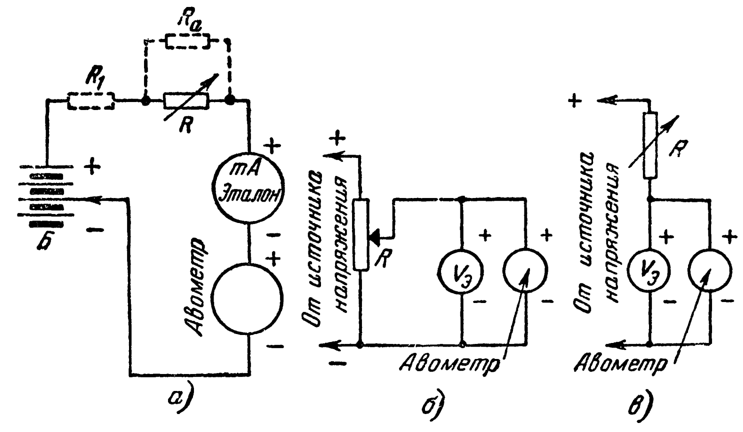
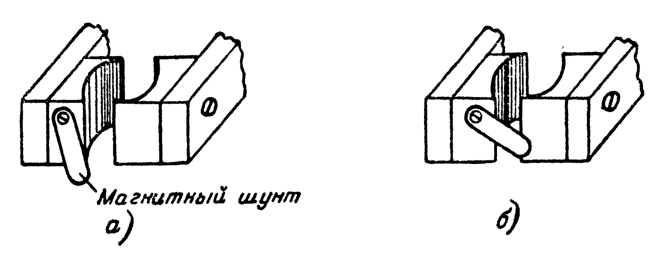


Рис. 17. Схемы градуировки авометра.

обозначения: *R* — переменное сопротивление и *Б* — батарея. Последняя может быть составлена из аккумуляторных или сухих элементов. Она должна иметь отдачу по току не менее максимального предела измерения авометра по шкале ампер. Вместо батареи возможно использование выпрямителя, обеспечивающего отдачу тока соответствующей силы. Необходимые напряжение батареи и величина сопротивления *R* находятся в зависимости друг от друга. Они должны обеспечивать изменение силы тока в цепи примерно от 10% минимального предела измерения силы тока авометром (включение шунта в положение $\times 1$) до максимальной силы тока, на измерение которого рассчитан прибор (включение шунта в положение $\times 1\,000$). Для выполнения этого требования может встретиться необходимость в процессе измерения изменять число элементов батареи или подключать дополнительные сопротивления, как показано пунктиром на фиг. 17,*а*. Переменное сопротивление *R* и дополнительные сопротивления не должны сильно нагреваться при прохождении через них тока.

Если прибор исправен и имеет заводскую шкалу, его градуировка по шкале миллиампер, соответствующей наименьшему пределу измерения (до 1 или 5 *ма* — фиг. 11, 12 и 15), обычно не требуется. В этом можно убедиться, изменяя величину сопротивления, включенного последовательно с батареей и прибором. Показания стрелки авометра должны



Фиг. 18. Регулировка пределов измерения прибора с помощью магнитного шунта.

совпадать в любой момент с показаниями эталонного миллиамперметра. Однако, такого совпадения может не получиться, если, например, прибор подвергался ремонту или он старый и в нем частично размагнитился магнит или ослабели спиральные пружинки.

Регулировка магнитного шунта. Если миллиамперметр имеет магнитный шунт, то с его помощью иногда можно восстановить соответствующие шкале прибора пределы измерения. Для выполнения этой операции необходимо снять кожух прибора. Когда магнитный шунт находится в положении, показанном на фиг. 18,*а*; стрелка миллиамперметра будет отклоняться до конца шкалы при меньшем токе, чем при положении магнитного шунта, показанном на фиг. 18,*б*. При промежуточных положениях магнитного шунта предел измерения прибора будет больше, чем при положении шунта, показанном на фиг. 18,*а*, но меньше, чем при положении, показанном на фиг. 18,*б*. После каждого изменения положения шунта нужно ставить металлический кожух прибора на место и фиксировать показания его стрелки только при этих условиях. Практически необходимый предел измерения может быть получен после нескольких регулировок положения шунта. Когда изменением положения шунта достигнут необходимый предел измерения градуируемого прибора, следует проверить соответствие его показаний на других делениях шкалы, изменяя с помощью переменного сопротивления силу тока через прибор.

Если у миллиамперметра нет магнитного шунта или пределы измерения применяемого прибора заранее точно не известны, необходимо нанести на шкалу авометра новые деления, наклеив предварительно на нее чистую бумагу по форме шкалы. Для этого изменяют с помощью переменного сопротивления силу проходящего через приборы тока и наносят на шкале авометра отметки, соответствующие показаниям эталонного прибора. Чем больше будет нанесено на шкалу таких отметок, тем точнее будет градуировка авометра.

Подгонка шунта. Если сопротивления, составляющие универсальный шунт, выбраны правильно, то по шкалам, соответствующим большим пределам измерения силы тока, градуировка прибора не потребуется. В этом можно убедиться, установив переключатель авометра на другие пределы измерения силы тока и сверяя его показания с показаниями эталонного прибора. Отсчет по шкалам авометра при этом следует умножать соответственно на 10, 100 или 1 000 — в зависимости от положения переключателя. Если же точного совпадения не получается, следует добиться его, изменяя в небольших пределах входящие в шунт сопротивления. Подбор шунта следует начинать с уменьшения наибольшего входящего в него сопротивления (R_7 на фиг. 11, 12 и 15), при положении переключателя, соответствующем увеличению предела измерения в 10 раз. Такое уменьшение может потребоваться, в частности, тогда, когда сам миллиамперметр (его подвижная рамка) имеет сравнительно большое сопротивление.

В процессе проверки и градуировки авометра по шкалам токов встречается необходимость переключать пределы измерения эталонного миллиамперметра, стараясь по возможности пользоваться его показаниями в середине и во второй половине шкалы, так как при этом получается наибольшая точность отсчетов. По мере необходимости в процессе градуировки меняются величины переменного сопротивления или подключаются дополнительные сопротивления.

Градуировка шкал постоянных напряжений. Для градуировки вольтметра по шкалам постоянных напряжений нужно собрать схему по фиг. 17,*б* или же по фиг. 17,*в*. Здесь $V_э$ — эталонный вольтметр. В обоих случаях в качестве источника питания схем при градуировке авометра в пределах малых напряжений может быть использована та же батарея, которая применялась для градуировки авометра по шкалам токов. Для градуировки на большие напряжения можно при-

менять анодные батареи, соединенные при необходимости последовательно, или кенотронный выпрямитель.

Источники напряжения и потенциометр для схемы фиг. 17,*б* должны быть выбраны, исходя из следующих соображений: 1. Желательно, чтобы полное сопротивление потенциометра *R* было по крайней мере в 2 раза меньше общего сопротивления параллельно соединенных эталонного вольтметра и градуируемого авометра при включении на градуировку данной шкалы[1]. 2. Конструкция потенциометра должна допускать прохождение через него тока в 1,5 ÷ 2 раза большей силы, чем сила тока, определяемая его сопротивлением и напряжением батареи.

К источнику питания и переменному сопротивлению схемы фиг. 17,*в* предъявляются иные требования, а именно:

1. Если напряжение источника не представляется возможным изменять, максимальная величина переменного сопротивления *R* должна быть примерно в 10—20 раз больше общего сопротивления параллельно соединенных эталонного и градуируемого вольтметров при их включении на градуировку данной шкалы. В случае же использования батарей, дающих возможность снимать с них различные напряжения путем изменения числа действующих элементов, можно при градуировке авометра по шкалам напряжений производить грубую регулировку напряжения переключением элементов, а точную установку необходимого напряжения — с помощью переменного сопротивления, не превышающего по величине добавочное сопротивление авометра.

2. Источник должен давать напряжение, несколько превышающее предел измерения авометра, и ток, потребляемый обоими приборами при полном отклонении их стрелок; сопротивление *R* должно быть рассчитано на этот ток.

Как потенциометр в случае фиг. 17,*б*, так и переменное сопротивление в случае фиг. 17,*в* должны обеспечивать плавную регулировку напряжения, подаваемого на вольтметр и авометр.

---

[1] В крайнем случае можно не придерживаться этого правила. Но чем больше будет сопротивление потенциометра, тем менее равномерной будет изменение напряжения при передвижении ползунка по его длине. Это создаст затруднения в точной установке нужного напряжения на измерительных приборах при крайнем положении движка. Исходя из этих соображений, сопротивление потенциометра должно быть возможно меньшим, но с этой стороны мы ограничены возможностью нагрузки источника напряжения, ибо при работе с батареями нежелателен их быстрый разряд.

В случае переменного сопротивления недостаточной величины можно последовательно с ним включать различные постоянные сопротивления, добиваясь необходимых изменений напряжения на приборах.

Процесс градуировки по шкалам постоянных напряжений. Сначала устанавливают переключатель на градуируемом авометре в положение, соответствующее измерению напряжений наименьшей величины. Соответственно этому должно быть выбрано напряжение источника питания и включен эталонный вольтметр. Изменяя подаваемое на приборы напряжение, добиваются показания эталонного вольтметра, равного заданному максимальному показанию проверяемого авометра при данном положении на нем переключателя. Если действительный предел измерения силы тока применяемым миллиамперметром соответствует принятому при расчете и добавочное сопротивление выбрано правильно, стрелка авометра отклонится точно до последнего деления шкалы. Если же стрелка не доходит до последнего деления шкалы, когда эталонный вольтметр показывает заданное напряжение, то нужно уменьшить добавочное сопротивление R_1 (фиг. 11, 12 и 15); если же стрелка авометра доходит до последнего деления шкалы, когда эталонный вольтметр показывает напряжение меньше предельной величины, заданной для авометра, добавочное сопротивление нужно увеличить. При таком способе подгонки удастся использовать для измерения напряжений шкалу, нанесенную для отсчета силы тока. Подгонка проволочного сопротивления производится уменьшением или увеличением длины проволоки сопротивления. Если в авометре применяются остеклованные или непроволочные добавочные сопротивления, грубую подгонку их величин можно произвести вначале. Если имеющиеся сопротивления не подходят, то тогда можно взять меньшее сопротивление и включить последовательно с ним другие сопротивления небольшой величины. Удобно в таких случаях последовательно с непроволочным сопротивлением включить проволочное сопротивление и подогнать необходимую величину добавочного сопротивления удлинением или укорачиванием его проволоки. Подгонка заканчивается, когда стрелка авометра установится на последнее деление шкалы при показании эталонного прибора, соответствующем заданному пределу измерения градуируемого авометра.

Градуировку шкалы по всей ее длине можно не производить, так как шкала для постоянного тока практически равномерна и необходимые цифры могут быть поставлены про-

тив соответствующих делений шкалы заводского изготовления. Чтобы все же быть вполне уверенным в совпадении показаний по шкале, нужно, передвигая движок потенциометра или реостата, устанавливать стрелку эталонного прибора поочередно на различные деления и сличать показания авометра с показаниями эталона.

Если по каким-либо причинам изменять величину добавочного сопротивления не представляется возможным, на шкалу придется нанести новую градуировку. В этом случае шкала должна быть отградуирована заново по всей ее длине. Для этого, изменяя положение движка потенциометра или реостата, устанавливают стрелку эталонного прибора поочередно на различные деления и, пользуясь его показаниями, для каждого значения установленного напряжения наносят на шкалу авометра точку, поставив около нее соответствующее ей значение напряжения. Когда градуировка прибора закончена по одной шкале напряжений, переводят переключатель авометра в положение, соответствующее другому пределу измерения напряжения, и осуществляют подгонку добавочного сопротивления или градуировку шкалы для этого предела. По мере необходимости в процессе градуировки переключают пределы измерения эталонного вольтметра, повышают напряжение источников питания или заменяют потенциометр (или переменное сопротивление), руководствуясь изложенными выше замечаниями.

По подгонке величины добавочных сопротивлений авометра по схеме фиг. 12 для шкалы 0—100 *в* следует изменять только величину сопротивления R_2, а для шкалы 0—500 *в* только величину R_3, так как, добиваясь в первом случае необходимого предела измерений изменением величины R_1, а во втором случае R_1 и R_2, нарушают уже произведенную градуировку шкал на меньшие пределы измерений напряжений.

При подгонке пределов измерений по шкалам напряжений положение магнитного шунта изменять недопустимо, так как от этого нарушится градуировка по шкалам токов.

Градуировка на переменные напряжения. Схема градуировки авометра на переменные напряжения такова же, как и схема градуировки на постоянные напряжения (фиг. 17,*б*, 17,*в*). Здесь только должны быть применены вольтметр и источник переменного тока. Для градуировки авометра на небольшие переменные напряжения приборы могут подключаться через потенциометр или переменное сопротивление к обмотке накала ламп приемника. Для градуировки на бо̀льшие напряжения схемы можно включать непосредственно в

сеть переменного тока. Наконец, для градуировки авометра в пределах, превышающих напряжение сети, может быть использована в качестве источника питания повышающая обмотка силового трансформатора выпрямителя. При выборе потенциометра или переменного сопротивления для градуировки авометра по шкалам переменных напряжений следует руководствоваться соображениями, уже высказанными нами выше в отношении градуировки по шкалам постоянных напряжений. Если при измерении переменных напряжений в схеме авометра работают те же добавочные сопротивления, что и при измерении постоянных напряжений (фиг. 12), на шкалу наносят деления таким же способом, как мы описали выше для случая градуировки авометра на постоянные напряжения без подгонки добавочных сопротивлений.

Подбор индивидуальных добавочных сопротивлений для измерения по шкалам переменных напряжений — работа очень кропотливая.

Нужно предварительно подсчитать величину этих сопротивлений по формуле (4) и поставить в схему сопротивления на $5 \div 20\%$ меньше расчетной величины.

Далее производится подгонка добавочного сопротивления до полного отклонения стрелки авометра при заданном напряжении по показаниям эталонного прибора точно так же, как в цепях измерения постоянных напряжений.

Когда подгонка сопротивления окончена, на шкалу наносятся градуировочные точки таким же способом, как и в случае градуировки авометра по шкалам постоянных напряжений без подгонки сопротивлений. Рекомендуется в цепях измерения переменного тока использовать непроволочные сопротивления в комбинации с небольшими проволочными сопротивлениями, для точной подгонки предела измерения. Применять в цепях переменного напряжения добавочные сопротивления целиком из проволочной намотки не рекомендуется, так как они дороги, при обычном способе намотки обладают значительной индуктивностью, чем ухудшают частотную характеристику прибора, а безиндукционная (бифилярная) намотка больших сопротивлений — работа весьма трудоемкая.

Градуировочные графики. При использовании в авометре прибора малого размера трудно, а зачастую и невозможно, нанести на его шкалу необходимое количество градуировок для всех видов и пределов измерений, особенно для отсчета переменных напряжений и сопротивлений. В этом случае можно оставить на приборе шкалу с заводской градуировкой,

построив для авометра градуировочные графики и пользуясь ими при дальнейших измерениях. Примерные градуировочные графики для авометра с прибором на 1 *ма* показаны на фиг. 19. В действительности ход кривых для каждого данного авометра может быть иным, особенно по шкалам переменных напряжений.

Изготовляются градуировочные графики следующим образом. По горизонтальной оси наносятся деления шкалы, а по вертикальной — измеряемые величины (вольты, миллиамперы, омы). При градуировке авометра точки наносятся не на его шкалу, а на соответствующие заготовленные графики и через эти точки проводятся линии.

Коррекция частотной характеристики авометра. Подбор величин конденсаторов C_1, C_2 и C_3 (фиг. 11 и 12) производится следующим образом. Авометр подключается к генератору низкой частоты, частоту которого можно менять, но при всех частотах даваемое им на авометр напряжение должно быть постоянным по величине. Коррекция достигается подбором величины емкости и точки ее подключения. Таким способом можно получить почти независимые показания вольтметра до частот в несколько тысяч герц. Однако, в области более высоких частот и при коррекции авометр дает все же заниженные показания.

После подбора емкостей необходимо проверить градуировку прибора на частоте 50 *гц*. Если включение емкостей несколько нарушило градуировку, необходимо изменить величину добавочного сопротивления для восстановления правильности показаний авометра. Таким образом осуществляется подбор емкостей при всех трех положениях переключателя авометра на измерение переменных напряжений.

Градуировка по шкале сопротивлений. По шкале омов авометр градуируется также, как и омметр (см. стр. 9).

Способ повышения точности измерения напряжений. Для улучшения точности измерений авометром постоянных напряжений в схемах радиоприемников и усилителей, требуется вспомогательное сопротивление того же порядка, что и добавочное сопротивление авометра при данном пределе измерения.

Предположим, что требуется определить напряжение, даваемое выпрямителем. Включают авометр на зажимы выпрямителя (фиг. 20,*а*) и отмечают его показание U_1. Затем включают авометр на зажимы выпрямителя через сопротивление R (фиг. 20,*б*) и снова отмечают показание авометра U_2. По этим двум показаниям авометра истинное напряжение выпрямителя

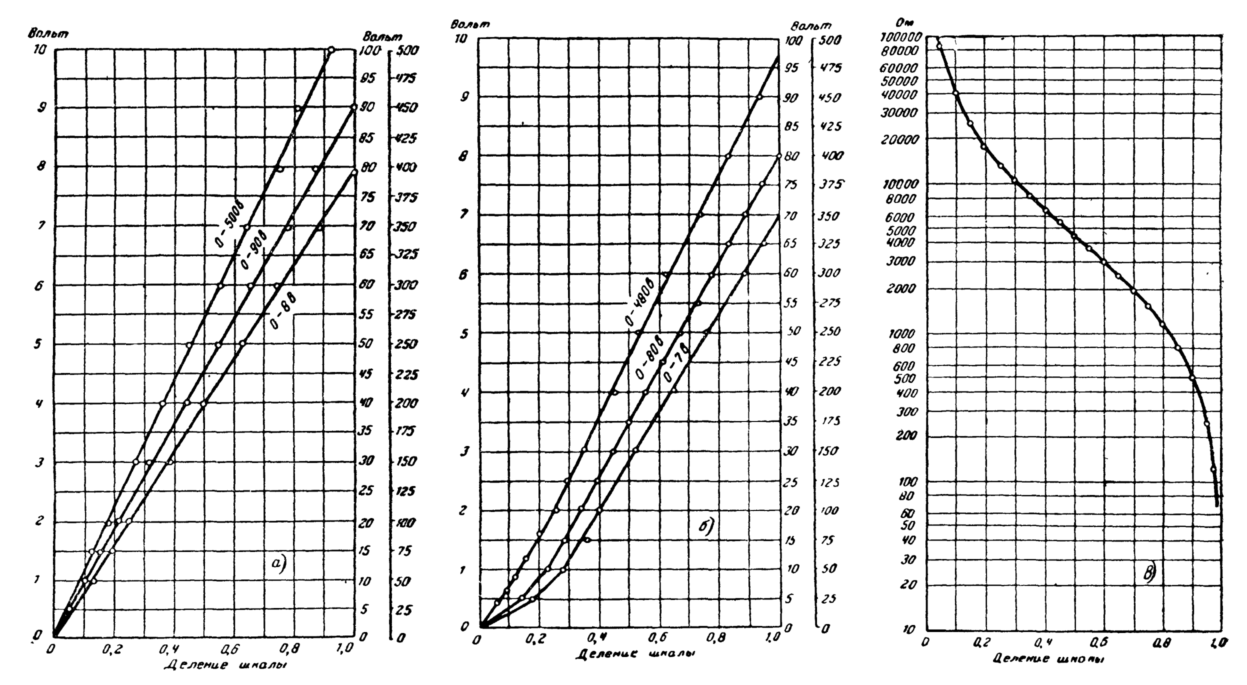
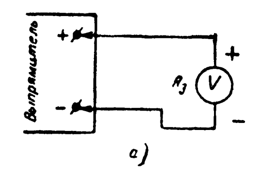


Рис. 19. Градуировочные кривые к авометру.

(при отключенном авометре) вычисляется по нижеследующей формуле

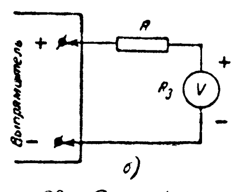


$$U = \frac{R \cdot U_1 \cdot U_2}{R_З \cdot (U_1 + U_2)}, \qquad (9)$$

где $R_З$ — добавочное сопротивление в авометре (фиг. 11 и 15).

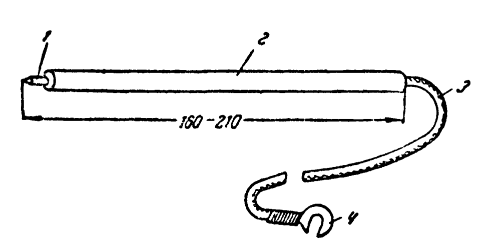
Пример. Пусть при пределе измерения 0 ÷ 500 *в* добавочное сопротивление в авометре $R_З$ = 100 000 *ом*. При включении авометра непосредственно на зажимы выпрямителя (фиг. 20, *а*) его показание $U_1 = 270$ *в*, а при включении через вспомогательное сопротивление $R = 30\,000$ *ом* $U_2 = 210$ *в*. Тогда истинное напряжение, даваемое выпрямителем при отключенном авометре, будет

$$U = \frac{30\,000 \cdot 270 \cdot 210}{100\,000 \cdot (270 + 210)} = 283 \text{ в}.$$



Фиг. 20. Способ повышения точности измерения напряжений авометром.

Влияние нелинейности характеристики лампы. При измерении описанным выше способом напряжений на электродах лампы приемника необходимо учитывать, что сила тока в цепях лампы не находится в прямой пропорциональности от напряжений на ее электродах и только в пределах прямолинейной части характеристики сопротивление лампы постоянно. Поэтому включение авометра, изменяя напряжение между электродами лампы, может изменить и ее сопротивление. Чтобы убедиться в том, что сопротивление измеряемой цепи не изменяется от включения авометра, следует произвести еще одно измерение при другом, несколько меньшем вспомогательном сопротивлении R. Если вычисление по результатам обоих измерений даст одинаковый результат, измерение можно считать правильным.

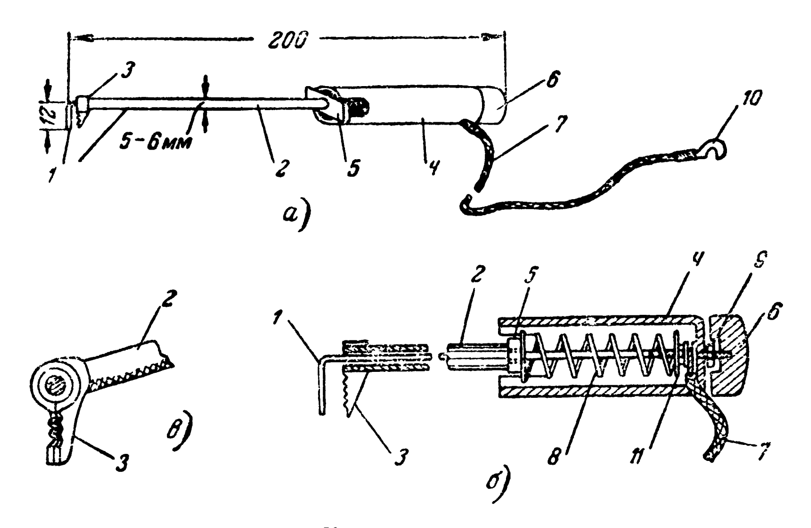


Фиг. 21. Конструкция „пробника" для подключения авометра к измеряемой цепи.

«Пробники» к авометру. Для удобства пользования авометром следует изготовить два «пробника» (щупа). Пробник (фиг. 21) состоит из медного или латунного стержня *1*

диаметром 3 — 4 *мм* и длиной 120 — 160 *мм*, один конец которого заточен на острие. К другому концу стержня, припаивается гибкий изолированный проводник *3*, заканчивающийся наконечниками (металлическими крючками) или штепсельными ножками для подключения его к авометру. На металлический стержень надевается гетинаксовая или эбонитовая трубка *2* длиной 150—200 *мм* таким образом, чтобы спайка стержня *1* с гибким проводником *3* находилась внутри нее и чтобы заостренный конец стержня выступал из трубки не более чем на 5—10 *мм*. Если внутренний диаметр имеющейся трубки больше диаметра стержня, последний может быть обмотан ниткой, бумагой и т. п., которые пропитываются лаком или клеем. Взяв в руки трубку *2*, очень удобно с помощью острия стержня подключаться к любой точке схемы приемника.

Зажим для подключения авометра. При большом числе измерений в приемнике или усилителе один из полюсов авометра нужно присоединять на постоянную к шасси проверяемого аппарата. Для этой цели очень удобен зажим, изготовленный в соответствии с фиг. 22,*а*. На фиг. 22,*б* показан его разрез. Присоединение зажима к схеме производится с помощью его «щипцов», образуемых изогнутым концом проволочного стержня *1* и металлическим фасонным наконечником *3*, припаянным к концу медной или латунной трубки *2*. Фасонный наконечник показан для большей ясности отдельно на



Фиг. 22. Конструкция зажима.

фиг. 22,*в*. Стержень проходит внутри трубки *2* и с помощью гаек *9* скрепляется с гильзой *4* от охотничьего ружья. На конец трубки *2,* входящий в гильзу *4,* напаяна металлическая пластинка *5*, которая должна передвигаться свободно в пазах гильзы *4* и предотвращать проворачивание трубки *2* кругом стержня *1*. Плотное зажатие края шасси или проводника проверяемого аппарата между концом стержня *1* и наконечником *3* достигается с помощью пружины *8*, которая упирается одним концом в пластинку *5*, а другим в шайбу *11*. Через отверстие в гильзе *4* пропускается один конец гибкого проводника *7* и присоединяется к стержню *1*. Второй конец этого проводника снабжается наконечником *10* (или штепсельной ножкой) для присоединения к авометру. На выступающий из дна гильзы *4* конец стержня *1* навинчивается колпачок *6* из эбонита или какого-либо другого материала.

Если зажим такой конструкции предполагается использовать для подключения авометра к цепям проверяемой схемы, находящимся под напряжением по отношению к шасси, трубку *2* нужно покрыть изоляционным слоем, например надеть на нее пертинаксовую трубку или обмотать ее одним-двумя слоями плотной бумаги, пропитав ее шеллачными или бакелитовым лаком. В этом случае гильза *4* должна быть сделана из изоляционного материала, либо покрыта изоляционным слоем, обеспечивающим надежную изоляцию руки от металлических частей зажима.

При измерениях токов силой в несколько сотен миллиампер или в несколько ампер, не следует переключать пределы измерения под током во избежание обгорания контактов переключателя.

Данные вольтметров

Тип	Шкала, *в*	Число делений шкалы (кроме нулевого)	Ток полного отклонения, *ма*	Добавочное сопротивление, *ом*	
				Внутреннее	Внешнее
М-1, М-2	0÷3	30	8,5	~350	—
	0÷8	40	8,5	~940	—
	0—15	30	8,5	~1 750	—
	0÷30	30	8,5	~3 500	—
	0÷50	25	8,5	~5 850	—
М-1	0÷150	30	8,5	—	~17 700
М-2	0÷150	30	8,5	~17 700	—
М-1	0÷250	25	8,5	—	~29 500
М-2	0÷250	25	7,5	~33 200	—
М-1	0÷300	30	8,5	—	~35 200
М-2	0÷300	30	5	~60 000	—
М-1, М-2	0÷460	23	8,5	—	~54 000
М-1, М-2	0÷600	30	8,5	—	~70 000
М-1, М-2	0÷1000	20	5	—	~200 000
М-1, М-2	0÷3/30	30	8,5	~350+ +3 150	—
М-1	0÷8/200	40	8,5	~940	~22 500
М-2	0÷8/200	40	8,5	~940+ +22 500	—
М-2	0÷8/300	40/30	8,5	~940+ +32 500	—
М-1	0÷15/300	30	8,5	~1 750	~33 500
М-2	0—15/300	30	8,5	~1 750+ +33 500	—
М-1	0÷30/300	30	8,5	~3 500	~32 000
М-2	0÷30/300	30	5,0	~6 000+ +54 000	—
М-63	0÷3/300	15	—	—	—
5-МЛ	0÷3	30	7,0	~425	—
5-МЛ	0÷8	40	5,0	~1 600	—
	0÷15	30	—	—	—
	0÷30	30	—	—	—
	0÷50	50	—	—	—
4-МШ	0÷15	30	—	—	—
	0÷25	50	—	—	—
	0÷50	50	5,0	—	—
МК-55	0÷3	30	—	—	—
	0÷15	30	—	—	—
	0÷50	30	—	—	—
ПМ-70	0÷3	30	7,5	—	—
	0÷15	30	7,5	—	—
	0÷30	30	7,5	—	—

Цена 1 р. 50 к.

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

Москва, Шлюзовая набережная, дом 10.

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

под общей редакцией академика А. И. БЕРГА

ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ И ПОСТУПИЛИ В ПРОДАЖУ

Ф. И. ТАРАСОВ. Одноламповый батарейный приемник. 16 стр., ц. 50 к.

Аппаратура для проверки и налаживания приемников (Экспонаты 6-й Всесоюзной заочной радиовыставки). 32 стр., ц. 1 р.

Ф. И. ТАРАСОВ. Как построить выпрямитель. 16 стр., ц. 50 к.

К. И. ДРОЗДОВ. Радиолампы отечественного производства. 24 стр., ц. 75 к.

Г. А. СНИЦЕРЕВ. Расчет трансформатора по номограммам. 16 стр., ц. 65 к.

В. К. АДАМСКИЙ и А. В. КЕРШАКОВ. Приемные любительские антенны. 48 стр., ц. 1 р. 50 к.

И. И. СПИЖЕВСКИЙ. Гальванические батареи и аккумуляторы. 72 стр., ц. 2 р. 25 к.

Аппаратура звукозаписи (Экспонаты 6-й Всесоюзной заочной радиовыставки) 32 стр., ц. 1 р. 10 к.

Радиолюбительская измерительная аппаратура (Экспонаты 6-й Всесоюзной заочной радиовыставки). 32 стр., ц. 1 р. 50 к.

Р. М. МАЛИНИН. Самодельная измерительная аппаратура. 48 стр. ц. 1 р. 50 к.

В. К. ЛАБУТИН. Наглядные пособия по радиотехнике. 24 стр., ц. 2 р. 50 к.

С. КИН Азбука радиотехники. 254 стр., ц. 10 р.

ПРОДАЖА во всех книжных магазинах Когиз'а и киосках Союзпечати.